





**HEC MONTRÉAL**

**Simulation d'un processus de réception de remorques dans un centre  
de distribution : Le cas Metro**

**par**

**Laurence St-Onge**

**Sciences de la gestion  
(Option Logistique internationale)**

*Mémoire présenté en vue de l'obtention  
du grade de maîtrise ès sciences en gestion  
(M, Sc.)*

Avril 2018  
© Laurence St-Onge, 2018



# Table des matières

Table des matières.....	i
Liste des tableaux et des figures .....	iii
Remerciements .....	vii
Chapitre 1 Introduction .....	9
Chapitre 2 Revue de la littérature.....	15
2.1 La relation entre les acteurs d'un centre de distribution.....	15
2.2 Principales problématiques opérationnelles d'un centre de distribution.....	17
2.3 Pratiques en industrie .....	25
2.4 Contribution.....	27
Chapitre 3 Méthodologie.....	29
3.1 Choix de la méthodologie.....	29
3.2 Méthodologie de la simulation à événements discrets .....	32
Chapitre 4 Présentation du cas Metro .....	41
4.1 Processus étudié .....	41
4.2 Définition du problème .....	48
4.3 Description des données d'entrée.....	50
4.4 Description des comportements .....	50
4.5 Description des paramètres du système.....	54
4.6 Description des attributs des bons de commande.....	55
4.7 Règles de décision .....	58
4.8 Description des mesures de performance .....	59
Chapitre 5 Analyses statistiques .....	61
5.1 Collecte des données .....	61
5.2 Nettoyage des données .....	62
5.3 Traitement statistique .....	71
Chapitre 6 Développement du modèle de simulation .....	101
6.1 Modèle de simulation .....	101
6.2 Données d'entrées .....	103
6.3 Le moteur de la simulation .....	106

6.4 Mesures de performance .....	115
6.5 Ressources .....	116
6.6 Paramètres et module de décision .....	117
6.6 Vérification du modèle.....	118
6.7 Validation du modèle .....	119
Chapitre 7 L'expérimentation .....	125
7.1 Cadre expérimental .....	125
7.2 Résultats .....	142
7.3 Discussion des résultats.....	166
Chapitre 8 Conclusion.....	171
Bibliographie.....	173
Annexes.....	i
Annexe A .....	iii
Annexe B .....	xvii

# Liste des tableaux et des figures

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Éléments liés à la prise de décisions des gestionnaires pour les activités de réception .....	22
Tableau 2 : Classification ABC des fournisseurs.....	67
Tableau 3 : Écart d'arrivée des bons de commande selon le type de fournisseur et divisée selon les trois variables dépendantes.....	74
Tableau 4 : Écart d'arrivée des bons de commande selon le quart de travail planifié .....	75
Tableau 5 : Écart d'arrivée des bons de commande selon le type de dépilage .....	76
Tableau 6 : Écart d'arrivée des bons de commande selon le nombre de lignes.....	77
Tableau 7 : Écart d'arrivée des bons de commande selon le nombre de palettes .....	78
Tableau 8 : Écart d'arrivée des bons de commande selon le jour de la semaine .....	79
Tableau 9 : Écart d'arrivée des bons de commande selon le mois.....	80
Tableau 10 : Écart de début de déchargement des bons de commande selon le type de fournisseur.....	85
Tableau 11 : Écart de début de déchargement des bons de commande selon le quart de travail .....	86
Tableau 12 : Écart de début de déchargement des bons de commande selon le type de dépilage.....	87
Tableau 13 : Écart de début de déchargement des bons de commande selon le nombre de lignes .....	88
Tableau 14 : Écart de début de déchargement des bons de commande selon le nombre de palettes .....	88
Tableau 15 : Écart de début de déchargement des bons de commande selon le jour de la semaine .....	90
Tableau 16: Écart de début de déchargement des bons de commande selon le mois de l'année.....	92
Tableau 17 : Écart de déchargement des bons de commande qui n'ont pas respecté le temps prévu selon le quart de travail du déchargement.....	94
Tableau 18 : Conditions d'affectation des fournisseurs à une catégorie.....	98
Tableau 19 : Catégorisation individuelle du comportement habituel des fournisseurs.....	99
Tableau 20 : Données d'entrée du modèle de simulation .....	104
Tableau 21 : Attributs des bons de commande utilisés dans le modèle de simulation.....	105
Tableau 22 : Conditions des groupes de mesures de performance .....	115
Tableau 23 : Description des paramètres de gestion du modèle de simulation.....	117
Tableau 24 : Première partie de la validation du modèle de simulation .....	120
Tableau 25 : Deuxième partie de la validation du modèle de simulation .....	122
Tableau 26 : Descriptions des scénarios en lien avec les temps d'arrivée des fournisseurs .....	127
Tableau 27 : Écart d'arrivée lors de grands retards selon le type de fournisseur.....	129
Tableau 28 : Écart d'arrivée lors de grands retards selon le quart de travail du rendez-vous....	130
Tableau 29 : Écart d'arrivée lors de grands retards selon le nombre de palettes du bon de commande.....	130
Tableau 30 : Écart d'arrivée lors de grands retards selon le jour de la semaine .....	131
Tableau 31 : Écart d'arrivée lors de grands retards selon le mois de l'année .....	131

Tableau 32 : Écart d'arrivée global en fonction du rendez-vous .....	131
Tableau 33 : Descriptions des scénarios en lien avec les règles de priorisation .....	134
Tableau 34 : Catégorisation individuelle du comportement habituel des fournisseurs.....	137
Tableau 35 : Écart de déchargement lorsque le temps prévu n'est pas respecté, en fonction du quart de travail .....	140
Tableau 36 : Descriptions des scénarios 29, 32, 34, 36 et 37 .....	154
Tableau 37 : Résultats des scénarios 10 à 37 et priorisant les chauffeurs en attente et les écarts d'arrivée d'une heure, en fonction des catégories d'écart de début de déchargement.....	157
Tableau 38 : Description des scénarios 16, 14, 15, 10 et 11 .....	158
Tableau 39 : Comparaison du scénario 38 lors de l'ajout d'un changement dynamique dans la file d'attente en fonction des catégories d'écart de début de déchargement .....	160
Tableau 40 : Comparaison de la proportion de bons de commande déchargés, en fonction des trois catégories d'écart de début et selon le scénario 39, le modèle initial et la règle PEPS .....	163
Tableau 41: Proportion de bons de commande déchargés .....	165

## Liste des figures

Figure 1 - Activités d'un centre de distribution .....	9
Figure 2 - Cadre conceptuel des décisions de conception et des problématiques opérationnelles d'un centre de distribution .....	17
Figure 3 - Types de systèmes de simulation .....	30
Figure 4 – Modèle de la simulation utilisée dans ce mémoire .....	36
Figure 5 - Cartographie du processus de réception de remorques .....	43
Figure 6 - Étapes 1 à 6 du processus de réception de remorques.....	45
Figure 7 - Étapes 8 à 13 du processus de réception de remorques.....	46
Figure 8 - Étapes 16 à 26 du processus de réception de remorques.....	47
Figure 9- Étapes 26 à 32 du processus de réception de remorques.....	47
Figure 10 - Extrait du fichier EXCEL d'un rapport: Warehouse unloading times .....	62
Figure 11 - Histogrammes de l'écart d'arrivée si Respect du rendez-vous en fonction du type de fournisseurs (de gauche à droite : A, B et C).....	73
Figure 12 - Écart d'arrivée moyen des fournisseurs si Respect du rendez-vous en fonction du mois de l'année.....	81
Figure 13 - Neuf variables dépendantes en lien avec l'écart de début de déchargement.....	83
Figure 14 - Schéma du modèle de simulation utilisé dans ce mémoire .....	102
Figure 15 - Moteur de la simulation.....	107
Figure 16 - Sous-partie du système destiné à la lecture des temps d'arrivées dans la simulation .....	109
Figure 17 - Sous-partie du système destiné à la mise en attente pour le déchargement de la simulation.....	111
Figure 18 - Sous-partie du système destiné au changement dynamique de la file d'attente.....	113
Figure 19 - Sous-partie du système destiné à la prise de mesures de performance de la simulation .....	114
Figure 20 - Fin du modèle de la simulation .....	114
Figure 21 - Module Schedule.....	116
Figure 22 - Temps moyen en file d'attente des fournisseurs en fonction des scénarios 1 à 9 ...	144
Figure 23 - Écart de début de déchargement lorsque le fournisseur respecte le rendez-vous en fonction des scénarios 1 à 9 .....	146
Figure 24 - Proportion des bons de commande arrivés et déchargés en respectant le rendez-vous en fonction des scénarios 1 à 9.....	147
Figure 25 Proportion des bons de commande arrivés à l'heure et déchargés dans l'heure suivant le rendez-vous en fonction des scénarios 1 à 9 .....	148
Figure 26 Proportion des bons de commande arrivés à l'heure et déchargés plus d'une heure suivant leur rendez-vous en fonction des scénarios 1 à 9 .....	149
Figure 27 - Temps d'attente moyen en file d'attente des bons de commande en fonction des scénarios 10 à 37.....	150
Figure 28 - Écart de début de déchargement selon l'arrivée du fournisseur et en fonction des scénarios 10 à 37.....	151
Figure 29 - Écart de début de déchargement moyen des bons de commande priorisant les chauffeurs en attente en fonction des scénarios 10 à 37 .....	153

Figure 30 - Écart de début de déchargement moyen des bons de commande priorisant les chauffeurs en attente et les écarts d'arrivée d'une heure et moins en fonction des scénarios 10 à 37 .....	155
Figure 31 Comparaison des mesures de performance globale d'un système PEPS (1), du modèle initial (2) et du scénario 38 (3).....	161
Figure 32 - Temps d'attente moyen en file .....	162
Figure 33 - Comparaison du temps moyen de la file d'attente du modèle initial, du scénario 38, 39 et de la combinaison de 38 et 39. ....	164

## **Remerciements**

Je tiens à remercier sincèrement Valérie Bélanger et Julie Paquette pour leur aide soutenue et leur dévouement à ce mémoire.

J'aimerais remercier l'organisation Metro pour leur confiance et une attention particulière à Étienne Hénault-Arbour pour sa collaboration au projet.

Je tiens aussi à remercier Mohamed Jabir pour ses judicieux conseils et sa disponibilité.

Enfin, merci à mes proches pour leurs encouragements.



# Chapitre 1

## Introduction

Les centres de distribution (CD) sont un acteur important de la chaîne d'approvisionnement et font face à plusieurs défis. L'exigence accrue des clients, autant en termes de qualité, de délai et que de prix ainsi que la mondialisation, exerce une pression sur les entreprises pour qu'elles soient performantes. Pour se démarquer de la compétition, les entreprises doivent donc travailler de pair avec leurs partenaires. Les centres de distribution ne font pas exception et sont amenés à mieux gérer leurs relations avec leurs fournisseurs pour offrir un service de qualité à un prix compétitif. Tel qu'illustré à la figure 1, un centre de distribution est situé entre les manufacturiers et les clients dans la chaîne d'approvisionnement. Ainsi, les manufacturiers sont les fournisseurs des centres de distribution. Le rôle des centres de distribution est de recevoir les produits de centaines de fournisseurs, de les entreposer de façon temporaire, puis de préparer et d'expédier les commandes de produits variés et consolidés vers les détaillants.

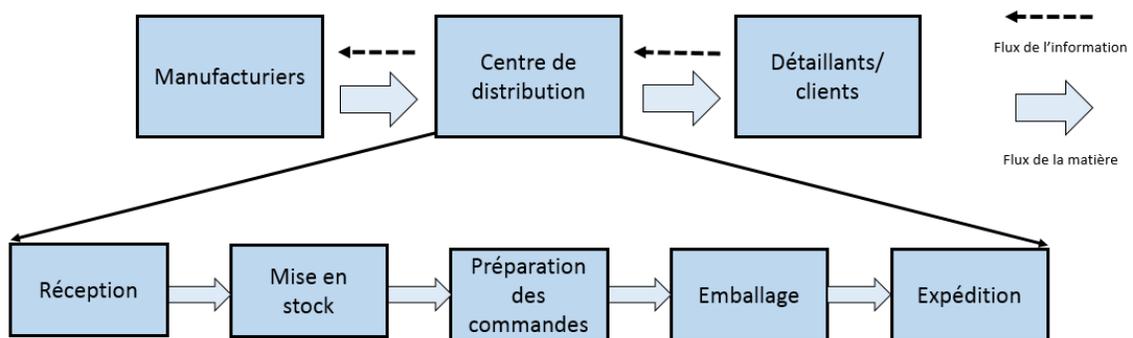


Figure 1 - Activités d'un centre de distribution  
Source : Chen et al., 2013

La mondialisation a encouragé les entreprises à centraliser leurs stocks. Cette consolidation de l'inventaire dans les centres de distribution permet, d'une part, de réduire considérablement l'inventaire total, mais d'autre part, elle introduit de nouvelles problématiques. La congestion aux quais de réception et d'expédition ainsi que dans les allées en sont des exemples. De plus, les clients étant de plus en plus exigeants, le centre

de distribution doit répondre à la demande dans des délais de plus en plus courts, ce qui crée une pression grandissante sur ses activités.

Les fournisseurs et le centre de distribution sont d'abord en contact lors du processus d'approvisionnement qui se conclut par une commande passée par le centre de distribution à son fournisseur. Une date de livraison est alors établie et, dans certains cas, un rendez-vous doit être pris par le fournisseur pour permettre le déchargement de sa livraison au CD en temps voulu. Le jour de la livraison, le fournisseur a la responsabilité d'arriver à l'heure du rendez-vous. Une fois arrivé au centre de distribution, les employés responsables des activités de la réception affectent le camion à une porte du quai et déchargent les palettes. Le contrôle de la quantité et de la qualité des produits est effectué sur place. Les produits sont ensuite envoyés vers la zone d'entreposage, ce qui libère la remorque du fournisseur et une nouvelle remorque peut alors être déchargée.

Afin de rendre le processus de réception des marchandises le plus efficace possible, la collaboration des fournisseurs et du centre de distribution est essentielle. En effet, selon Stank, Keller et Daugherty (2001), le partage d'information et la coordination des acteurs d'une chaîne logistique permettent des avantages globaux et à long terme pour toutes les parties prenantes de la chaîne. Le transfert des coûts vers un maillon de la chaîne en amont ou en aval ne permet pas à une entreprise d'être plus compétitive, car le coût est transféré et payé par le consommateur final (Christopher, 2011). C'est plutôt une gestion intégrée de la chaîne d'approvisionnement qui peut fournir un avantage concurrentiel à une organisation par rapport aux compétiteurs (Christopher, 2011). Ainsi, la compétition n'est plus entre les organisations, mais plutôt entre les chaînes d'approvisionnement.

Une façon de bien coordonner les activités de réception d'un centre de distribution est d'utiliser un horaire. Par contre, plusieurs aléas et un comportement fautif des fournisseurs peuvent faire en sorte que les rendez-vous ne soient pas respectés, ce qui a plusieurs conséquences néfastes. Du côté des fournisseurs, il peut être difficile d'être toujours à l'heure étant donné l'incertitude de la congestion, de la météo et d'autres imprévus rencontrés lors de la livraison. De plus, le fait d'arriver très en avance n'est pas intéressant pour un fournisseur, car l'attente s'ajoute aux coûts d'exploitation. Or, c'est le fait d'arriver à l'heure et de ne pas se faire décharger dans les délais prévus qui semblent être

la plus grande source de frustration chez les fournisseurs. Du côté du centre de distribution, le respect des heures de rendez-vous accordées aux fournisseurs est un défi quotidien. Le CD doit s'adapter en fonction de la variabilité de l'arrivée des nombreux fournisseurs ainsi que de celle du temps de déchargement des remorques. Ainsi, des retards peuvent entraîner un effet boule de neige et bouleverser l'horaire des rendez-vous sur plusieurs quarts de travail, affectant l'équilibre de la charge de travail des employés à la réception. Le non-respect de l'horaire peut donc créer de la frustration et nuire à la relation entre les deux maillons de la chaîne d'approvisionnement et potentiellement affecter leur comportement ultérieur. Dans ce mémoire, nous nous intéressons donc aux problématiques qui existent entre les fournisseurs et un centre de distribution au niveau des activités de réception et tenterons de répondre à la question de recherche suivante : *Comment la variabilité du comportement du fournisseur et celle du centre de distribution affecte la performance du processus de réception de remorques d'un centre de distribution?*

Nous nous sommes intéressés à un distributeur qui fait face à ce défi de collaboration et de coordination avec ses fournisseurs. Avec plus de 600 marchés d'alimentation et 250 pharmacies sous plusieurs bannières au Québec et en Ontario, Metro est une entreprise québécoise respectée dans le domaine alimentaire et pharmaceutique. La chaîne d'approvisionnement est un élément crucial pour ce distributeur qui atteint un chiffre d'affaires de plus de 13 milliards de dollars en 2017 (Metro, 2017). Les huit centres de distribution situés au Québec permettent d'acheminer les produits quotidiennement aux détaillants où les Québécois vont s'approvisionner depuis maintenant 70 ans. Le centre de distribution des fruits et légumes et produits laitiers, situé à Laval, est le plus récent et compte plus de 550 employés. Avec un chiffre d'affaires d'environ 2 milliards en 2017, un volume moyen de réception de 850 000 caisses par semaine ainsi que 300 fournisseurs qui passent annuellement par ce centre, un horaire de rendez-vous est actuellement utilisé pour assurer une meilleure coordination du processus de réception des marchandises. Par contre, malgré ce mécanisme en place, des frustrations sont palpables autant du côté des fournisseurs que du centre de distribution.

Le but de ce mémoire est de comprendre l'interrelation des fournisseurs et du centre de distribution et l'effet de la variabilité de leur comportement sur la performance du processus de réception, c'est-à-dire sur les temps d'attente des fournisseurs. Pour y arriver, nous réaliserons une simulation qui permettra de représenter le cas étudié, soit celui du centre de distribution de fruits et légumes et de produits laitiers de Metro et de mesurer l'impact d'un changement de comportement des acteurs sur la performance du processus. Ainsi, nous utiliserons les données historiques de l'entreprise afin de bien comprendre la situation des acteurs de l'industrie alimentaire québécoise. L'expérience de l'auteure à titre de contremaître au centre de distribution de Metro a permis de bien connaître les contraintes de la réalité opérationnelle. La simulation à événements discrets a été choisie afin de reproduire le processus de réception de remorques et d'expérimenter divers scénarios pour appuyer nos recommandations. Les données des deux dernières années nous permettront d'identifier les facteurs influençant le comportement des acteurs ainsi que de déterminer les distributions statistiques à utiliser pour créer les différents scénarios nécessaires à l'expérimentation.

Dans ce mémoire, nous tenterons ainsi de mieux comprendre comment le processus réagit à la variabilité de l'arrivée des fournisseurs, des règles de priorisation des remorques des gestionnaires de Metro et de la variabilité du temps de déchargement. L'objectif de la simulation est de refléter une situation réelle considérant la variabilité, les contraintes de l'entreprise et la prise de décision des acteurs. Ainsi, cette méthodologie nous permettra d'atteindre notre but qui est d'expliquer l'effet de la variabilité de différents éléments sur la performance du processus de réception de remorques.

Ce mémoire est organisé de la façon suivante. Le chapitre 2 présente la recension des écrits en lien avec notre problématique. Le chapitre 3 présente les raisons appuyant le choix de la simulation comme méthodologie de recherche. Les six étapes de cette méthode de recherche y sont détaillées. Le chapitre 4 présente de façon plus approfondie le cas étudié. La cartographie du processus de réception de remorques, l'analyse du problème et la description des variables y sont présentées. L'analyse statistique des données du cas est abordée au chapitre 5. Nous y discutons, entre autres, du nettoyage des données ainsi que des résultats du traitement statistique. Le chapitre 6 présente le développement du modèle

de simulation et le chapitre 7 présente l'expérimentation et l'interprétation des résultats. Finalement, le chapitre 8 conclut ce mémoire par des recommandations et aborde les limites du travail effectué ainsi que des pistes de recherches futures.



## **Chapitre 2**

### **Revue de la littérature**

Le centre de distribution est une composante importante d'une chaîne d'approvisionnement. Il permet de fournir une gamme élargie de produits aux clients tout en se prévenant de la variabilité de la demande par une mise en commun des stocks. De plus, la présence d'un centre de distribution dans une chaîne logistique permet d'obtenir des économies d'échelle auprès des fournisseurs lors des achats, de consolider les produits commandés ainsi que les livraisons vers les clients. Il y a deux acteurs de la chaîne d'approvisionnement qui interagissent avec le centre de distribution. En amont, les fournisseurs livrent les produits en grandes quantités vers le centre de distribution. Cette marchandise est stockée et ensuite cueillie, en plus petites quantités, en fonction des commandes envoyées par les clients. L'expédition de ces commandes est effectuée vers les clients, en aval. Ce chapitre explore les différents papiers dans la littérature qui abordent la relation entre les acteurs d'une chaîne logistique. Plus précisément, nous abordons les problématiques opérationnelles liées à la relation entre les fournisseurs et le centre de distribution. La mise en place d'un horaire de rendez-vous et l'affectation des remorques au quai sont les principales problématiques étudiées dans la littérature. Nous concluons ce chapitre en présentant une approche pour améliorer la relation entre les fournisseurs et le centre de distribution issue des pratiques en industrie.

#### **2.1 La relation entre les acteurs d'un centre de distribution**

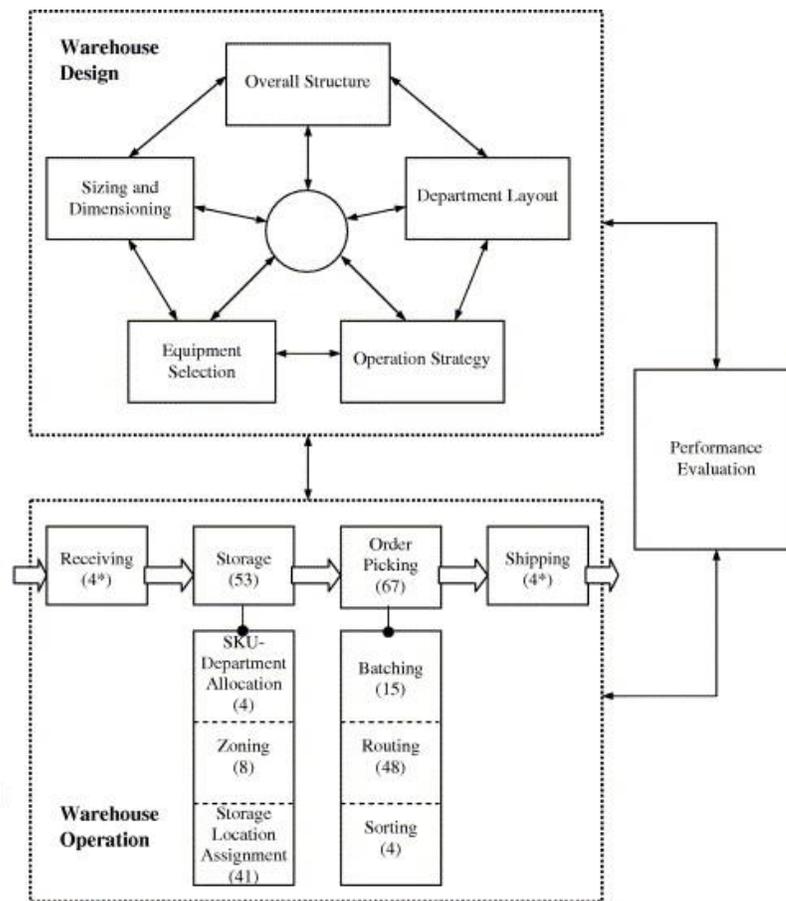
Au cours des dernières années, le nombre grandissant de participants impliqués dans les réseaux logistiques sont, en raison de la mondialisation des marchés, souvent répartis géographiquement dans le monde entier (Caputo et al., 2003). La plupart des efforts déployés par les entreprises pour faire face aux marchés mondiaux visent à trouver des moyens de collaboration efficaces avec leurs partenaires (Ceroni et Nof, 2002). Awheda et al. (2015) mentionnent que le développement de la relation avec le fournisseur est l'un des plus importants défis de la gestion de la chaîne logistique. Les clients sont de plus en plus exigeants et cela met une pression sur les maillons de la chaîne logistique pour améliorer leur efficacité. La coordination de toutes les activités de la chaîne

d'approvisionnement est alors primordiale. La relation entre les partenaires inclut l'échange d'informations tout au long des processus industriels, dès l'achat de matières premières jusqu'à la livraison finale au client (Awheda et al., 2015). Bien que l'intégration des acteurs de la chaîne d'approvisionnement soit un enjeu de plus en plus véhiculé dans les organisations, la relation entre un fournisseur et un client est souvent plutôt adversaire que coopérative. Il est encore courant aujourd'hui que certaines entreprises cherchent à réaliser des réductions de coûts au détriment de leurs partenaires de la chaîne d'approvisionnement (Christopher, 2016).

Dans les organisations, il existe peu de mesures de performance collaboratives entre les fournisseurs et un centre de distribution. Malgré le fait que les deux acteurs travaillent ensemble, on se retrouve souvent dans un jeu à somme nulle. Le gain de l'un constitue une perte pour l'autre. Vallette et al. (2009) expliquent qu'un autre aspect de l'amélioration d'une relation entre fournisseurs et un centre de distribution est la modélisation du comportement humain. On peut le comparer à la variabilité de la fidélité d'un client. Il n'est pas possible de connaître le comportement d'un client à l'avance, par contre, on peut créer plusieurs expérimentations ou scénarios basés sur le comportement humain. Ceroni et Nof (2007) se sont intéressés à la modélisation des interactions entre les parties du réseau d'approvisionnement. Ils ont publié un article décrivant l'application d'un modèle d'évaluation de l'intégration parallèle (PIEM) visant à améliorer la relation entre les fournisseurs et une entreprise, dans une étude de cas industriel. Les deux facteurs de retard étudiés sont le retard dû à la communication, la négociation et la coordination entre les parties et le retard de congestion des ressources. Suite au succès de cette étude, le modèle a été généralisé et mis en œuvre en tant qu'outil d'optimisation de la conception du réseau d'approvisionnement (Ceroni et Nof, 2007). Bref, il semble y avoir une dichotomie entre les intérêts des fournisseurs et des centres de distribution. La prochaine section explore les principaux problèmes opérationnels d'un centre de distribution et met en lumière le rôle de la relation entre les deux acteurs en lien avec ces défis.

## 2.2 Principales problématiques opérationnelles d'un centre de distribution

Gu et al. (2007); (2010) ont réalisé des revues de la littérature sur les principaux problèmes opérationnels d'un centre de distribution, divisées selon les activités suivantes : la réception, l'entreposage, la préparation des commandes et l'expédition. Nous nous sommes intéressés aux problématiques opérationnelles abordées par les auteurs, les modèles de planification utilisés ainsi que les avenues de recherche concernant les opérations spécifiques à l'activité de la réception des centres de distribution. La figure 2 illustre les différentes problématiques présentées dans la revue de la littérature de Gu et al. (2007).



\*This number represents papers about both receiving and shipping

Figure 2 - Cadre conceptuel des décisions de conception et des problématiques opérationnelles d'un centre de distribution

Source : Gu et al. (2007)

Au niveau des décisions stratégiques, la conception du centre de distribution, la structure générale et ses dimensions, le choix des équipements et les stratégies opérationnelles sont les principaux éléments étudiés dans la littérature. Au niveau des décisions tactiques, l'allocation de l'espace et la disposition des produits sont des exemples de sujets largement exploités dans la littérature. Finalement, au niveau opérationnel, la gestion de l'inventaire et la préparation des commandes sont les deux principales activités opérationnelles abordées dans la littérature. À l'inverse, les activités de la réception et de l'expédition des remorques sont très peu étudiées. Dans leur revue de la littérature, Gu et al. (2007) ont retenu seulement quatre papiers sur le sujet combiné de la réception et de l'expédition, 53 sur les activités d'entreposage et 67 sur la préparation des commandes. On peut en conclure que comparativement aux autres activités opérationnelles d'un centre de distribution, très peu de papiers traitent du sujet de la réception et l'expédition des remorques. Or, l'affectation des remorques aux quais est l'une des décisions prises par les gestionnaires des centres de distribution quotidiennement. En fait, la réception et l'expédition sont l'entrée et la sortie du flux de matières d'un CD. Pour un centre de distribution traditionnel, soit un centre sans transbordement, les marchandises reçues sont entreposées, puis cueillies et expédiées. Dans un tel cas, les opérations de réception et d'expédition sont complexes à gérer puisqu'elles sont liées à la fonction de stockage et de préparation de commandes (Gu et al., 2007). Par exemple, du côté de la réception, la priorisation du déchargement peut être influencée par le besoin des commandes clients, alors que du côté de l'expédition, l'ordonnancement des camions peut dépendre de la façon dont les commandes sont groupées lors de la préparation. À l'inverse, les activités de réception et d'expédition des centres de transbordement sont plus simples, car une fois la marchandise reçue au quai de réception, elle est directement envoyée vers le quai d'expédition. Pour améliorer l'efficacité des activités de réception et d'expédition, la modélisation et la simulation ont été utilisées dans de nombreuses études de cas (Ljungberg et Gebresenbet (2004), Trebilcock (2004), Gopakumar et al. (2008), Vallette et al. (2009) et Mittal et Krejci (2015)). Les prochaines sections détaillent les problématiques opérationnelles abordées dans la littérature, la méthodologie appliquée ainsi que les principaux résultats des études. Nous nous sommes intéressées aux

problématiques de la mise en place d'un horaire, à la variabilité de l'arrivée des fournisseurs ainsi qu'à l'affectation des remorques aux portes.

### **2.2.1 La mise en place d'un horaire**

Plusieurs études des dernières années mettent en évidence l'importance d'un horaire de rendez-vous dans la gestion de l'arrivée des remorques à un centre de distribution. Mittal et Krejci (2015) présentent notamment un modèle de simulation des opérations de logistiques entrantes dans un centre régional d'approvisionnement alimentaire. L'article permet de mettre de l'avant l'enjeu du très grand nombre de fournisseurs avec d'énormes volumes. Les livraisons sans horaire créent de très longues files d'attente. Dans le cas présenté par Mittal et Krejci (2015), le défi majeur était que les arrivées se faisaient toutes en même temps, au lieu d'être uniformisées durant la période de réception, ce qui serait possible avec un système de rendez-vous et un horaire préétabli. L'expérimentation par la simulation a permis de tester l'impact de différents facteurs sur le comportement d'arrivée des fournisseurs. En changeant différents paramètres d'entrées comme l'ordre de préférence des plages horaires des fournisseurs et le temps de déchargement, la planification des rendez-vous a permis d'augmenter l'efficacité globale des opérations de logistiques entrantes (Mittal et Krejci, 2015). Le changement d'un horaire de rendez-vous implique une réorganisation complexe des disponibilités. Trebilcock (2004) a documenté les logiciels d'optimisation permettant de déterminer l'horaire d'arrivée des remorques à un centre de distribution afin d'améliorer le processus entrant. Ljungberg et Gebresenbet (2004) ont mené une étude en Suède sur les opérations à l'entrant d'un centre de distribution à Uppsala et ont mentionné qu'un horaire fixe d'arrivée des remorques était leur première priorité.

Du point de vue du centre de distribution, l'objectif de la mise en place d'un horaire de rendez-vous optimisée est de décharger le maximum de bons de commande et de minimiser le temps d'attente des employés de déchargement entre deux déchargements (Gopakumar et al. 2008). Or, il y a beaucoup de contraintes qui doivent être prises en compte par les gestionnaires du centre de distribution. Selon Vallette et al. (2009), les gestionnaires sont souvent affectés par l'imposition d'un volume de ventes et des contraintes d'espace. Un horaire préétabli est donc sujet à des changements en fonction

des produits nécessaires aux commandes clients ainsi que l'accumulation de palettes sur le quai de réception. Par contre, un des aspects où les gestionnaires ont le contrôle est la planification de la main-d'œuvre quotidienne. Vallette et al. (2009) ont réalisé une étude de cas dans le secteur du détail et ont simulé le nombre d'employés nécessaires pour réaliser le volume prévisionnel. L'un des constats est que les gestionnaires doivent faire face aux problèmes imprévisibles du nombre d'absents. Le parallèle peut être fait avec les opérations de réception d'un centre de distribution. Les employés sont dispersés dans les différentes fonctions du centre de distribution : la réception, la préparation des commandes, le réapprovisionnement des emplacements destinés à la pigo, la mise en stock ainsi que l'expédition. Ainsi, un taux d'absentéisme élevé peut avoir un impact sur le nombre de ressources disponibles pour décharger les remorques. L'ajout d'employés non planifiés au déchargement n'est donc pas synonyme d'amélioration, car cela peut avoir une influence sur le reste des opérations du centre. Bref, la mise en place d'un horaire de réception de remorques optimisé n'est donc pas une solution complète aux problèmes des gestionnaires qui s'occupent des activités de réception d'un CD, car ils doivent aussi tenir compte des produits destinés aux commandes rapprochées, de l'espace libre du quai ainsi que de la disponibilité de la main-d'œuvre. De plus, en réalité, l'horaire n'est pas toujours respecté par les fournisseurs, ce qui amène d'autres défis de gestion au quotidien.

Or, la variabilité de l'arrivée des fournisseurs est un enjeu mis de l'avant entre autres dans les problèmes de temps de parcours. L'imposition d'un horaire fixe de réception implique que les fournisseurs sont affectés à des intervalles de temps spécifiques aux jours particuliers où ils sont censés livrer leur marchandise. Par contre, ces fournisseurs sont sujets à une certaine variabilité du temps de parcours pour arriver au CD. Delhome (2016) a étudié la modélisation de la variabilité des temps de parcours et son intégration dans des algorithmes de recherche du plus court chemin stochastique. Selon cet auteur, la congestion est l'un des éléments qui ne sont pas maîtrisés dans les calculs d'itinéraires de la route. Malgré l'application d'un horaire de rendez-vous, le centre de distribution doit s'adapter à la variabilité des arrivées. Une fois les remorques sur le site, les gestionnaires doivent les affecter au quai de réception. Cette décision a une grande influence sur le temps d'attente des fournisseurs et l'efficacité du processus global de réception.

### **2.2.2 L'affectation des remorques**

Parmi les articles portant sur l'amélioration des opérations de la réception de remorques dans un centre de distribution, l'une des problématiques les plus abordées de la littérature est la décision d'affectation des remorques au quai. Gopakumar et al. (2008) proposent une simulation portant sur l'allocation des remorques au quai de réception dans un centre de distribution alimentaire. Leur objectif de réduire le temps pour effectuer la mise en stock des palettes dans le centre de distribution a permis d'abaisser le temps d'attente des fournisseurs au quai de réception. Ils ont utilisé un algorithme comprenant la gamme de produits, le volume et la localisation prédéfinie des espaces de mise en stock. C'est précisément cet algorithme d'affectation des remorques aux portes du quai de réception qui a contribué à la réduction du temps d'attente des fournisseurs, car les remorques sont affectées aux portes en fonction de la distance minimale entre leur déchargement et l'emplacement de leur mise en stock (Gopakumar et al., 2008). Il faut préciser que l'affectation des remorques est l'une des deux principales décisions prises par les gestionnaires du centre de distribution dans l'activité de réception. Le tableau 1 résume les décisions en lien avec les activités de réception d'un CD, les informations nécessaires à ces prises de décision ainsi que les mesures de performance et les contraintes à respecter qui influencent la prise de décision des gestionnaires.

La décision d'affectation des fournisseurs aux quais de réception se résume à déterminer la priorité d'un déchargement d'une remorque. Ainsi, les gestionnaires se servent des informations disponibles, telles que le contenu des envois, c'est-à-dire, les produits et leur quantité ainsi que l'heure d'arrivée du fournisseur et l'heure de leur rendez-vous si tel est le cas. Tel que mentionné dans la section 2.2.1 de ce chapitre, l'espace disponible sur le quai de réception et la main-d'œuvre sont aussi des éléments influençant la prise de décision. Ainsi, les gestionnaires se servent de ces renseignements pour organiser le déchargement des remorques et tenter de rendre le processus de déchargement le plus fluide et efficace possible.

Tableau 1 : Éléments liés à la prise de décisions des gestionnaires pour les activités de réception

## **Les décisions**

---

1. L'affectation des fournisseurs au quai de réception, qui détermine les flux de matières;
2. L'attribution et la répartition des ressources de manutention.

### **1. Informations nécessaires à la prise de décision**

---

1. Informations sur les envois entrants, tels que leur heure d'arrivée et leur contenu;
  - a. Aucune connaissance, autre que la disposition de l'entrepôt;
  - b. Connaissance statistique partielle du processus d'arrivée;
  - c. Une parfaite connaissance du contenu de chaque transporteur arrivant (ex : ASN, RFID).
2. Informations sur les demandes des clients, telles que les commandes et leur délai d'expédition prévu;
3. Informations sur la disposition du quai de l'entrepôt et les ressources de manutention disponibles.

### **2. Les critères de performance et contraintes**

---

1. Ressources nécessaires pour effectuer toutes les opérations de réception;
2. Les niveaux de service, tels que le temps de cycle total et le temps de déchargement pour les transporteurs;
3. La mise en place ou l'emplacement relatif et l'agencement des quais et des services de stockage;
4. Politiques de gestion;
5. Exigences de débit du quai.

Source : Gu et al., (2007)

Le niveau de connaissance des informations sur les envois entrants est toutefois variable d'une organisation à l'autre. Une entreprise telle que Moisson Montréal, un organisme québécois sans but lucratif, reçoit annuellement 15 millions de kilogrammes de denrées alimentaires provenant d'une centaine de donateurs, à leur centre de distribution (Moisson Montréal, 2018). Étant donné que la marchandise reçue est constituée de dons, la réception se fait sans connaissance préalable du contenu et Moisson Montréal n'a qu'une heure approximative d'arrivée de la remorque. Dans ce premier scénario, non seulement les gestionnaires n'ont aucune base pour assigner des transporteurs aux quais, ils n'ont également aucune information pour assigner les marchandises près des emplacements de stockage. Selon Gu et al. (2007), il n'y a pas une règle d'affectation de stockage préférable. Le deuxième niveau de connaissance est plus fréquent dans les centres de distribution appartenant à une entreprise à but lucratif. La connaissance statistique partielle du processus d'arrivée, soit le type de produit et la quantité commandée est la base de la plupart des modèles de décision dans la littérature (Gu et al., 2007). Le troisième niveau de connaissance est de plus en plus courant grâce au développement de technologies de l'information telles que la puce RFID et les avis d'expédition avancés («advanced shipping notice» (ASN)). L'application de ces technologies dans les centres de distribution permet une connaissance parfaite du contenu d'une remorque et même d'une palette précise. L'utilisation de GPS est aussi un élément qui permet d'augmenter le niveau de connaissance par rapport au moment de l'arrivée des fournisseurs au centre de distribution. Les critères de performance et les contraintes sont propres à chaque organisation. Par contre, le nombre de ressources est souvent limité par l'espace de déchargement et le nombre de portes du quai ou encore par l'emplacement des zones de stockage.

Selon Gu et al. (2007), la décision d'affectation des remorques aux quais de réception est similaire à un problème d'ordonnancement. Les fournisseurs qui souhaitent se faire décharger sont les travaux à planifier, les équipes de déchargement représentent les ressources disponibles et l'affectation est soumise à des critères de performance et des contraintes tels que le niveau de service (soit le temps d'attente et de déchargement pour les fournisseurs), la disposition des portes de quai par rapport aux localisations de rangement et les politiques particulières du centre de distribution. Plusieurs articles, dont

Tsui et Chang (1992) ainsi que Bartholdi et Gue (2000) proposent des algorithmes pour déterminer les règles d'assignation aux portes. Par contre, l'objectif d'amélioration de l'efficacité des opérations prend principalement en compte la distance entre le quai de réception et l'espace d'entreposage. Contrairement à l'arrivée des fournisseurs, cette distance n'est pas variable. Boysen et Flidner (2010) ont d'ailleurs réalisé une classification des modèles d'ordonnement déterministe qui permettent de décider de la succession du déchargement des remorques aux portes d'un centre de transbordement.

En résumé, très peu de modèles ont été élaborés pour comprendre et améliorer la gestion des opérations de la réception de remorques d'un centre de distribution, comparativement aux autres activités d'un CD. La plus grande partie de la documentation disponible dans ce domaine porte sur des études de cas et englobe plusieurs problématiques liées aux activités de stockage et de préparation des commandes. Plusieurs modèles et stratégies d'affectation des remorques aux entrepôts de transbordement sont proposés dans la littérature. Par contre, les contraintes de distance plutôt que de variabilité des arrivées sont au cœur de ces études. Gu et al. (2007) abordent aussi l'enjeu de collaboration entre la communauté académique et les praticiens. Selon les auteurs, les recherches ne sont pas suffisamment communiquées à l'industrie pour avoir un impact significatif sur les opérations. Le cas étudié par Mittal et Krejci (2015) est probablement celui qui se rapproche le plus de notre étude. À l'aide de la simulation, les auteurs ont modifié les paramètres d'entrées de la prise de rendez-vous afin d'évaluer l'efficacité globale des opérations logistiques entrantes d'un centre de distribution. La distinction entre notre étude et la leur est que nous étudions le comportement d'arrivée du fournisseur ainsi que les règles de priorisation des remorques au lieu de modifier la construction de l'horaire ou le temps de déchargement alloué aux bons de commande.

Suite à ce survol des recherches abordant le sujet de la performance des opérations de la réception, nous nous sommes intéressées aux approches utilisées dans les entreprises afin d'améliorer la relation entre les fournisseurs et le centre de distribution. La prochaine section aborde des pratiques en industrie pour améliorer les comportements répréhensibles des fournisseurs.

## 2.3 Pratiques en industrie

Détenant plus de 3000 fournisseurs mondiaux, Wal-Mart est reconnue comme l'une des entreprises qui gèrent le mieux sa chaîne logistique. Selon plusieurs articles de journaux dont *The Wall Street Journal*, *The Arkansas Democrat-Gazette* ainsi que sur le site de l'American Society of Quality (ASQ), depuis 2010, Wal-Mart impose des pénalités de l'ordre de 3% du coût des marchandises à tous ses fournisseurs livrant une commande inadéquate en termes de qualité ou de quantité ou arrivant aux centres de distribution à l'extérieur de la fenêtre de temps planifiée. Depuis 2016, cette fenêtre de temps est d'un à deux jours selon la catégorie de produits (Forbes, 2016). La raison d'une pénalité pour une arrivée très hâtive est l'augmentation des coûts de stockage et l'évitement des problèmes de capacité, alors que celui d'un retard est le risque de pénurie du produit et donc de pertes de ventes. Le statut de Wal-Mart en tant que plus grand détaillant du monde est susceptible de stimuler l'adoption de ces politiques. D'un côté, Wal-Mart espère qu'un système d'amendes aidera à maintenir les livraisons de ses fournisseurs dans les délais. De l'autre côté, ces mesures punitives peuvent entacher la relation entre les fournisseurs et Wal-Mart.

Selon James Harris, président de High Impact Analytics à Betonville, une entreprise qui aide les fournisseurs à planifier les livraisons aux centres de distribution de Wal-Mart, les fournisseurs ont accès aux données des points de vente pour analyser le niveau de stock de leurs produits (ASQ, 2010). Wal-Mart est donc dans une approche d'intégration et de partage de l'information avec les maillons de sa chaîne d'approvisionnement. Or, il semble inévitable d'utiliser les pénalités, car ça semble être le seul moyen d'obtenir un comportement constant des fournisseurs, ce qui va à l'inverse de la gestion intégrée. Au moment de l'implantation de cette nouvelle mesure, aucun des 75 principaux fournisseurs de la chaîne d'approvisionnement de Wal-Mart n'atteignait l'objectif de 95% des livraisons à l'heure (Wells, 2017). Du côté des transporteurs, les charges avec pénalités ne sont pas attirantes. Plusieurs affirment qu'une charge sans pénalité est plus attrayante et moins dérangement en cas de retards inattendus qu'une charge de transport plus payante, mais avec des pénalités de retard (Wells, 2017).

Wal-Mart n'est pas le seul joueur de l'industrie à devoir imposer des pénalités pour des livraisons en retard. Un distributeur pharmaceutique canadien ainsi que des grandes entreprises américaines telles que Target et Kroger utilisent aussi ce système d'amendes. Ces gros joueurs semblent tous soulever le même enjeu. Lors d'une conférence portant sur la logistique<sup>1</sup>, un conférencier a témoigné de la difficulté de l'intégration des fournisseurs aux opérations logistiques du géant distributeur pharmaceutique. En effet, cette entreprise canadienne impose des pénalités de retard aux fournisseurs, ce qui contribue à un revenu additionnel de 4 à 5 millions de dollars par année sur un chiffre d'affaires de plus de 200 milliards en 2017. On comprend donc que la motivation derrière ces pénalités n'est pas le revenu, mais de sensibiliser les fournisseurs à l'impact de leur comportement et à partager les risques associés avec eux. Selon le magazine Forbes, Target, qui est en concurrence directe avec Wal-Mart et Amazon, prévoyait en 2016 réduire les délais pour les livraisons dans ses entrepôts, augmenter les amendes pour les livraisons tardives et imposer des amendes pouvant aller jusqu'à 10 000 \$ pour des inexactitudes dans l'information sur les produits (Forbes, 2016). Le géant américain Kroger Co. impose des amendes pour les envois en retard afin de satisfaire les clients et de mieux concurrencer les détaillants en ligne comme Amazon. Selon Gasparro et al. (2017), les ventes perdues en raison de ruptures de stock équivalent à environ 10% des ventes annuelles. C'est dans une optique de récupération de ces ventes que les fournisseurs de Kroger reçoivent une amende de 500 \$ pour toute commande qui est en retard de deux jours (Gasparro et al., 2017).

L'imposition de mesures restrictives, comme une pénalité de retard, semble être le moyen le plus présent dans l'industrie pour améliorer la performance globale des centres de distribution. Gostick et Elton (2009) suggèrent qu'une approche plus positive améliore les résultats à plus long terme. La plupart des recherches sur les incitations montrent que les incitations négatives, telles que des pénalités, obtiennent d'excellents résultats à court terme. Le principe du bâton et de la carotte est au cœur de ce débat qui place le centre de distribution et le fournisseur dans un esprit d'adversité. Porteous et al. (2015) ont réalisé

---

<sup>1</sup> Témoignage d'un conférencier lors d'une conférence organisée par le cabinet conseil GCL Canada, le 21 février 2018 à Montréal. La conférence était présentée par le vice-président opérations d'une grande entreprise de distribution pharmaceutique au Canada et portait sur l'optimisation des opérations logistiques d'un réseau de distribution canadien.

une étude auprès de 334 entreprises provenant de 17 industries afin de déterminer les pénalités et les incitations positives associées à la réduction de la non-conformité des fournisseurs et à la réduction des coûts d'exploitation des entreprises. L'une des conclusions de cette étude est que le fait d'offrir aux fournisseurs des incitations positives à l'augmentation du volume d'affaires et à la formation pour améliorer la performance permet de réduire les violations des normes et les coûts d'exploitation (Porteous et al., 2015).

## **2.4 Contribution**

En résumé, dans la littérature, on retrouve de nombreux papiers sur la modélisation et l'optimisation de problèmes opérationnels liés à la gestion de la chaîne d'approvisionnement, mais très peu sur les problématiques de l'activité de la réception de remorques d'un centre de distribution. De plus, c'est principalement le problème d'affectation des remorques au quai de réception qui est exploité dans la littérature afin de minimiser la distance parcourue dans le centre de distribution ou de transbordement. Or, l'interrelation des acteurs de la chaîne au niveau de la réception de remorques ainsi que l'effet de la variabilité de l'arrivée des fournisseurs semblent être un enjeu important dans l'industrie. Des géants de l'industrie du détail, tels que Wal-Mart et Target, ont pris ces dernières années, des mesures importantes afin de mettre de l'avant l'enjeu du comportement instable des fournisseurs, affectant les opérations de la chaîne. Or, il y a très peu d'études portant un intérêt sur les comportements des fournisseurs et des centres de distribution qui affectent la performance du processus de réception de remorques d'un CD. La réalité opérationnelle des entreprises est qu'un comportement divergent de la planification a souvent un effet boule de neige sur l'horaire. Ces comportements, que ce soit un retard des fournisseurs ou du centre de distribution, sont difficilement prévisibles ou contrôlables. Nous souhaitons explorer cette avenue et comprendre l'interrelation des fournisseurs avec un centre de distribution, analyser les facteurs qui influencent la variabilité des comportements et mesurer leur effet sur la performance du processus de réception de remorques.



## Chapitre 3

# Méthodologie

Pour répondre à la question de recherche *Comment la variabilité du comportement du fournisseur et celle du centre de distribution affecte la performance du processus de réception de remorques d'un centre de distribution?*, la simulation à événements discrets a été choisie comme méthode de recherche. Ce chapitre révisera les éléments principaux qui définissent cette méthode de recherche, en plus d'exposer les six étapes utilisées dans le modèle de simulation.

### 3.1 Choix de la méthodologie

La simulation est une méthode de recherche effectuée pour représenter une situation, vérifier la validité des modèles développés ou l'efficacité des heuristiques dans un contexte d'incertitude (Sachan et Datta, 2005). Cette méthode de recherche permet de répondre à quatre types d'objectifs. Nous chercherons soit à comparer des alternatives dans un système, par exemple des variables de décision (1), à optimiser le système en trouvant une configuration précise de ce dernier (2), à prédire un comportement futur (3) ou, tout simplement, à investiguer le système (4), soit comprendre le comportement du système (Rossetti, 2016). Contrairement à l'approche analytique, la simulation ne génère pas une solution précise à un problème (Altiok et Melamed, 2007). Dans un contexte de gestion de la chaîne d'approvisionnement, les outils de simulation sont plutôt utilisés pour appuyer la prise de décision (Van der Vorst et al., 2007). La mécanique des modèles de simulation est de générer des scénarios et de les comparer selon des mesures de performance spécifiées (Brailsford et Hilton, 2001). Lorsque le système étudié est complexe et qu'il est difficile de définir précisément certains comportements en présence d'incertitude, la simulation est une méthode de recherche qui s'applique très bien (Altiok et Melamed, 2007). Souvent combinée à la modélisation mathématique, la simulation permet de traiter des problèmes impliquant des comportements affectés par des facteurs tels que la culture, la relation, la confiance et le pouvoir (Sachan et Datta, 2005). Les outils de simulation sont donc très attrayants pour les entreprises, car cela leur permet de considérer des scénarios alternatifs avant la prise de décision, mais aussi de considérer ce

qui aurait pu arriver (Houston, 2006). Les auteurs s'accordent pour dire qu'il existe deux types de modèles de simulation: à événements discrets et continus (Borshchev et Filippov, 2004; Tako et Robinson, 2012; Rossetti, 2016). La figure 3 illustre les différents types de systèmes qui peuvent être représentés par des modèles de simulation

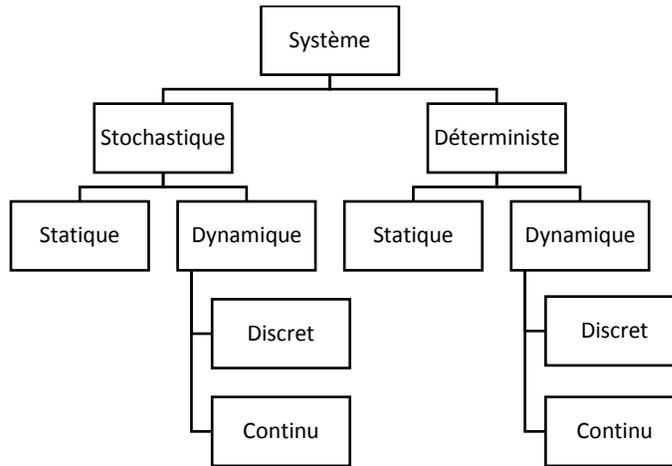


Figure 3 - Types de systèmes de simulation  
Source : Rossetti (2016)

En premier lieu, si le comportement général du système est aléatoire, on dit que le système est stochastique, sinon il est considéré déterministe. En second lieu, si le système ne change pas de façon significative par rapport au temps, il est statique, sinon il est appelé dynamique. Finalement, dans le cas d'un système dynamique, il est considéré discret si l'état du système change à des points ponctuels dans le temps, alors qu'un système est continu si l'état du système change continuellement avec le temps (Rossetti, 2016). Borshchev et Filippov (2004) expliquent que la simulation est l'exécution d'un ensemble de règles, dans laquelle des entités passent par un changement d'état, de façon discrète ou continue, à travers le temps.

Les deux approches de simulation dynamique, soit à événements discrets et continus, sont largement utilisées comme outils d'aide à la décision dans le domaine de la logistique et la gestion de la chaîne d'approvisionnement (Tako et Robinson, 2012). Elles sont entre autres utilisées pour représenter des systèmes de fabrication, de transport et de service (Rossetti, 2016). Par exemple, les simulations à événements discrets modélisent des systèmes comme un réseau de files d'attente et des activités où les changements d'état se

produisent à des moments ponctuels, tandis que les modèles de simulation continus représentent plutôt un ensemble de stocks et de flux où les changements d'état se produisent de façon continue au fil du temps (Tako et Robinson, 2012). Ainsi, les auteurs s'entendent pour dire que la simulation continue est principalement utilisée pour modéliser des problèmes à un niveau stratégique, alors que la simulation à événements discrets est utilisée au niveau opérationnel et tactique (Tako et Robinson, 2012; Shah, 2005; Brailsford et Hilton, 2001).

Dans la simulation à événements discrets, des entités, comme des objets ou des personnes, sont représentées individuellement. Des attributs spécifiques sont alloués à chaque entité et déterminent ce qui leur arrive tout au long de la simulation. Les modèles à événements discrets sont généralement de nature stochastique, où le hasard est généré par l'utilisation de distributions statistiques. D'autre part, en simulation continue, les entités individuelles ne sont pas spécifiquement modélisées, mais sont plutôt représentées comme une quantité continue, tel qu'un inventaire. Les modèles continus sont généralement de nature déterministe et les variables représentent généralement des valeurs moyennes (Tako et Robinson, 2012).

La recension de 127 papiers dans un contexte de gestion de la chaîne d'approvisionnement, effectuée par Tako et Robinson (2012), a permis de déterminer que 68% des recherches ont utilisé la simulation à événements discrets, 30% l'approche continue et seulement 2% ont utilisé la modélisation hybride. Cela suggère que la simulation à événements discrets est l'approche de simulation la plus fréquemment utilisée dans ce contexte. La plus grande proportion de problèmes de type opérationnel traités dans les recherches est probablement l'une des raisons de la popularité de l'approche de simulation à événements discrets. De plus, la recension note que l'utilisation de la simulation à événements discrets comme méthodologie est significativement plus fréquente pour les problèmes de planification de la distribution et du transport (Tako et Robinson, 2012). Cela justifie l'utilisation d'une simulation stochastique, de nature dynamique, à événements discrets dans le cadre d'un contexte de réception de remorques dans un centre de distribution.

Une fois la méthode de recherche sélectionnée, nous nous sommes intéressés aux mises en garde de la simulation à événements discrets. Tel que mentionné par Altiok et Melamed (2007), la simulation à événements discrets permet d'analyser des systèmes complexes par une représentation simplifiée. L'expérimentation se fait en générant des scénarios, en observant le comportement du système sur une période donnée et en récoltant les mesures de performance. Le but de cette méthode de recherche est d'évaluer la performance du processus en fonction de la variabilité des comportements, récurrents et occasionnels, autant positifs que négatifs. Toutefois, l'utilisation de ce type de méthode de recherche amène plusieurs risques. L'inexactitude du modèle, la fiabilité des données statistiques et l'interprétation des résultats sont les trois principaux (Altiok et Melamed, 2007; Rossetti, 2016). D'une part, le modèle peut ne pas représenter le processus réel. Même si la simulation fonctionne et que des résultats sont générés, ceux-ci ne permettent pas nécessairement d'améliorer les opérations si le modèle est inexact. Avant d'introduire des données d'entreprise dans le simulateur, il faut d'abord connaître comment le processus réagit en fonction des variables étudiées pour être en mesure d'illustrer le bon modèle. Le traitement statistique préalable à la construction du simulateur est essentiel à la bonne représentation du processus et permet de générer les distributions à utiliser. Lors de l'expérimentation, le nombre de répliques de la simulation doit être suffisamment élevé pour révéler des résultats fiables. Finalement, une mauvaise compréhension des comportements du système peut mener à une interprétation erronée de l'extrait (Altiok et Melamed, 2007).

### **3.2 Méthodologie de la simulation à événements discrets**

Les auteurs qui utilisent la simulation à événements discrets présentent une méthodologie très semblable entre eux. Nous nous sommes inspirés de la démarche d'Altiok et Melamed (2007) ainsi que de Rossetti (2016) afin de proposer notre méthodologie en six étapes. Nous allons d'abord énumérer ces étapes et ensuite détailler précisément la méthode de recherche pour chacune d'entre elles. La définition du problème et la collecte d'information (étape 1) débute la démarche de formulation du modèle de simulation. La compréhension du problème et du processus permettra de bien le représenter graphiquement. Ensuite, la collecte des données (étape 2) permet d'estimer la distribution

des variables ou d'introduire un historique de données entrantes. Une fois le problème défini et la collecte de données effectuée, la construction du modèle de simulation (étape 3) peut se réaliser par programmation ou par un environnement de simulation. Il faut tout d'abord déterminer les paramètres d'entrée, les mesures de performance, la relation entre les paramètres et les variables ainsi que les règles d'opérations ou de décisions qui sont utilisés dans notre système. L'information peut être représentée par un arbre hiérarchique ou un diagramme de flux logique par exemple. Il est ensuite important de vérifier et de valider le modèle (étape 4). La vérification consiste à assurer que le modèle réagit techniquement comme il a été programmé, soit qu'il répond aux spécifications de l'analyste. La validation du modèle permet de s'assurer qu'il représente le processus réel. Cette étape permet entre autres d'éviter d'avoir un modèle de simulation inexact en comparant les mesures de performance de la réalité opérationnelle et du simulateur. Puis, l'expérimentation (étape 5) se résume à l'exécution de la simulation sous différents scénarios pour une période donnée. Plusieurs expérimentations seront nécessaires afin d'avoir des résultats représentatifs. L'analyse des mesures de performance permettra l'interprétation des résultats (étape 6). Finalement, de cette interprétation, il est souhaitable de dégager des recommandations.

### **3.2.1 Étape 1 : Définition du problème**

Une expérience dans un centre de distribution à titre de contremaître permet de bien comprendre les enjeux et de cerner les failles entre la planification et la réalité opérationnelle. De mars 2016 à août 2017, l'auteure a pu observer et participer au processus de réception de remorques au centre de distribution de Metro sur les trois quarts de travail. Au cours de cette expérience, une problématique est ressortie : malgré un horaire fixe de rendez-vous, le temps d'attente des fournisseurs avant le déchargement de leur remorque est long. La réalisation d'une cartographie du processus a permis de représenter graphiquement le processus, de déterminer les étapes où un acteur intervient et d'établir la relation entre les différentes étapes. Puisque nous voulons étudier l'effet de la variabilité du comportement des fournisseurs et du centre de distribution sur la performance actuelle du processus, les règles de décisions et les mesures de performance sont inspirées des règles utilisées dans l'entreprise étudiée. La définition du problème et

la description des variables et des comportements étudiés seront présentées dans le chapitre 4.

### **3.2.2 Étape 2 : Collecte des données**

Les données ont été collectées au cours du mois de juillet 2017. L'accès à un historique de deux ans de réception du centre de distribution a permis de bien comprendre et surtout de quantifier la problématique. Les rapports mensuels de la réception des bons de commande et leurs attributs, tels que le fournisseur, les caractéristiques de la marchandise ainsi que les temps d'opération, ont été récoltés par l'entremise d'un générateur de rapports de l'entreprise. Les données ont deux utilités. Premièrement, l'analyse de ces données permet de connaître la moyenne et l'écart-type de la distribution associée à chaque comportement en fonction de variables indépendantes. Combinées à l'expérience de l'auteure, ces données nous ont permis d'analyser le comportement des fournisseurs et du centre de distribution. Deuxièmement, les données servent de données d'entrée au simulateur. Le temps d'arrivée ainsi que le temps de déchargement seront utilisés pour bien simuler la réalité. À la suite de l'extraction des données, deux nettoyages des données ont dû être réalisés pour répondre aux deux utilités des données et ainsi créer deux bases de données distinctes. Le premier nettoyage permet d'obtenir une base de données représentant un comportement normal du fournisseur et du centre de distribution afin d'y réaliser l'analyse des distributions statistiques. Cela signifie que les bons de commande incomplets, inexacts ou représentant un comportement particulier doivent être éliminés. La deuxième base de données doit, quant à elle, être plus représentative de la réalité, puisqu'elle sert de données d'entrée du simulateur. Les bons de commande incomplets ou inexacts seront générés avec la distribution des comportements issue de l'analyse des données. Cette deuxième base de données contient les comportements normaux et particuliers. Le nettoyage des données est réalisé sous le programme EXCEL ainsi qu'avec le programme de statistiques STATA. Des tests significatifs et des corrélations entre les variables de la première base de données sont réalisés sous STATA et contribuent à bien comprendre l'interrelation entre les acteurs du processus. Les tests significatifs identifient s'il est pertinent d'utiliser des distributions différentes pour représenter les variables dépendantes en fonction des groupes formés par diverses variables

indépendantes. Par exemple, si le test statistique identifie une différence entre la moyenne de l'écart d'arrivée pour les fournisseurs A comparativement aux fournisseurs B, on utilisera alors deux distributions différentes lorsqu'on voudra générer un scénario faisant varier la variable dépendante d'écart d'arrivée. Par ailleurs, les corrélations permettent d'identifier les liaisons entre les variables indépendantes. La collecte de données et l'analyse statistique seront présentées dans le chapitre 5. Un coefficient aléatoire est appliqué sur les résultats de la recherche afin de préserver la confidentialité des données de l'entreprise.

### **3.2.3 Étape 3 : Construction du modèle de simulation**

Plusieurs langages de programmation peuvent être utilisés pour construire un modèle de simulation à événements discrets, tels que FORTRAN, Visual Basic, C/C++ ou Java (Rossetti, M.D., 2016). Ces langages demandent une certaine expertise et expérience en programmation. Il existe aussi des logiciels de simulation permettant d'encadrer le développement d'un modèle par la création de blocs déjà programmés. ARENA est un logiciel de simulation commercial fréquemment utilisé dans le contexte académique et dans de nombreuses recherches présentées à la *Winter Simulation Conference*, étant donné sa facilité d'usage et le nombre important d'outils disponibles pour ce logiciel. Rossetti (2016) décrit ARENA comme un langage basé sur la description des processus. Une des fonctionnalités d'ARENA est l'introduction d'un historique de données d'entrée à partir d'une base de données (Textfile, Access ou Excel) dans le simulateur (Altiok et Melamed, 2007). On utilise cette fonctionnalité pour effectuer des exécutions basées sur un modèle spécifique d'arrivées. Par exemple, un horaire de rendez-vous est un programme fixe, mais irrégulier de camions qui arrivent aux quais de déchargement dans un centre de distribution. Il est aussi possible d'utiliser des données réelles dans le modèle de simulation. Les valeurs sont utilisées pour générer des entités au moment approprié. Cette façon de faire permet de soit valider le modèle de simulation ou de représenter une situation historique (Kelton et Sturrock, 2004). Il existe d'autres logiciels sur le marché qui utilisent la même logique qu'ARENA, tels que SIMIO. Le nombre important de papiers, livres et tutoriels portant sur ARENA, l'accessibilité à des ressources par

l'auteure ainsi que la facilité d'apprentissage de ce logiciel ont contribué au choix d'ARENA comme logiciel de simulation à événements discrets pour ce mémoire.

Suite au choix du logiciel de simulation, le modèle a été développé. Tel qu'illustré à la figure 4, le modèle de la simulation comporte essentiellement deux parties : la base de données, qui inclut les données réelles de l'entreprise, et le moteur de la simulation, qui se retrouve sur le logiciel ARENA, permettant d'effectuer la simulation. Les mesures de performance du processus de réception découlent des répliques du moteur de la simulation. Les paramètres et les scénarios modifient quant à eux le moteur de la simulation entre les répliques.

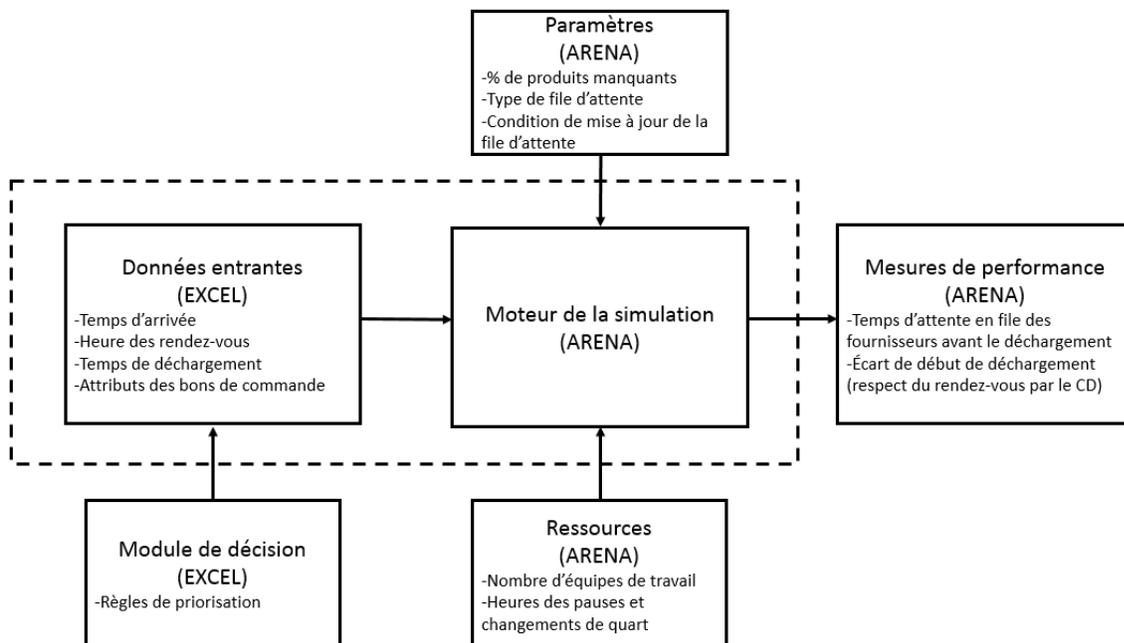


Figure 4 – Modèle de la simulation utilisée dans ce mémoire

Les données entrantes à la simulation sont composées du temps d'arrivée des remorques, l'heure de rendez-vous associé, le temps de déchargement de ce bon de commande ainsi que des attributs des bons de commande, répertoriés dans une base de données EXCEL. Les temps d'arrivée ainsi que les temps de déchargement seront affectés d'une composante aléatoire lors de l'introduction des scénarios. L'heure de rendez-vous ainsi que les attributs des bons de commande seront gardés fixes. Ces attributs sont

principalement le type de fournisseur, le quart de travail du rendez-vous, le quart de travail du début du déchargement, le type de défilage, le nombre de lignes et de palettes, ainsi que le jour, le mois et l'année du rendez-vous, en plus d'autres données pertinentes telles que la présence d'un chauffeur en attente et le rejet du bon de commande en raison de la qualité. Ces données seront intégrées dans le moteur de la simulation par une lecture de la base de données.

Le moteur de la simulation, sous le logiciel ARENA, est une combinaison de modules qui sont proposés par le logiciel de simulation. Ces modules facilitent la construction du modèle de simulation, mais en réduisent sa flexibilité. Le moteur permet de répliquer le processus de réception de remorques en fonction des données historiques de l'entreprise. Les modules ont différentes fonctionnalités permettant de représenter le plus fidèlement possible la réalité du processus. La simulation est analysée grâce aux mesures de performance qui proviennent du moteur de la simulation. Nous pouvons entre autres mesurer le temps d'attente moyen des fournisseurs et l'écart de début de déchargement en fonction de l'écart d'arrivée préalable du fournisseur. Ensuite, certains paramètres sont ajustés dans le moteur de la simulation lors de sa construction afin de rendre le modèle le plus représentatif possible de la réalité. Des paramètres tels que les heures de pause des employés, le pourcentage de remorques présentant des produits manquants et les paramètres de gestion de la file d'attente sont intégrés au moteur de la simulation et sont fixes lors des expérimentations. Le module de décision comporte quant à lui les règles de priorisation des remorques. Une fois le modèle construit, des scénarios sont créés sur EXCEL afin de modifier volontairement le comportement du fournisseur et du centre de distribution de façon contrôlée dans le moteur de la simulation. Le module de décision, les temps d'arrivée et les temps de déchargement seront modifiés à tour de rôle pour bien comprendre leur impact sur les mesures de performance. Le développement du modèle de simulation est présenté au chapitre 6.

#### **3.2.4 Étape 4 : Vérification et validation du modèle**

La vérification consiste à assurer que le modèle réagit comme il a été programmé. Plusieurs techniques telles que l'utilisation de bonnes pratiques de programmation, le suivi pas-à-pas des entités, l'animation et la comparaison des résultats avec des analyses

manuelles permettent d'assurer la vérification technique du modèle. La validation du modèle permet quant à elle de s'assurer que le modèle représente le processus réel. La comparaison entre les mesures de performance issues des répliques et celles des données historiques de l'entreprise permet de valider que le modèle représente la réalité opérationnelle du processus étudié au niveau conceptuel. Les étapes de vérification et de validation du modèle seront également présentées dans le chapitre 6.

### **3.2.5 Étape 5 : Expérimentation**

Une fois le modèle de simulation construit, vérifié et validé, le chapitre 7 présente l'expérimentation. Nous posons d'abord les paramètres de la simulation et décrivons les scénarios utilisés. Une période de réchauffement est mise en place afin de ne comptabiliser que les données représentant une situation normale. Les scénarios visent essentiellement trois variables. La première partie de l'expérimentation teste neuf scénarios faisant varier les temps d'arrivée des fournisseurs. Une hypothèse d'imposition de pénalités monétaires permet de supposer un changement de comportement. Cinq scénarios sont conçus faisant varier les temps d'arrivée en fonction d'un attribut particulier, alors que deux scénarios font varier le comportement des fournisseurs arrivés en retard de façon globale. Finalement, deux scénarios présentent des situations où le comportement des fournisseurs arrivés en retard s'intensifierait.

La seconde partie de l'expérimentation teste quant à elle les règles de priorisation du centre de distribution. Ainsi, 28 scénarios ont été créés afin de représenter des règles différentes en fonction d'un attribut du bon de commande ou en fonction du comportement du fournisseur. Ces 28 scénarios seront d'abord testés individuellement, puis les meilleures règles seront retenues afin de tester à nouveau les 28 règles de priorisation en combinaison avec celles retenues.

La troisième partie de l'expérimentation simule un seul scénario faisant varier le temps de déchargement. L'hypothèse d'une formation additionnelle permet de supposer une réduction du temps de déchargement moyen des bons de commande qui prennent plus de temps à décharger que prévu. Finalement, l'expérimentation se conclut par la combinaison des scénarios issus des trois parties de l'expérimentation. Le temps moyen en file d'attente

et l'écart de début de déchargement en fonction de groupes ciblés sont les principales mesures de performance utilisées afin de mesurer l'impact des changements sur l'efficacité du processus de réception des remorques.

### **3.2.6 Étape 6 : Interprétation des résultats**

L'interprétation des résultats se fait tout au long de la présentation des résultats. Une discussion est ensuite présentée à la suite de l'expérimentation au chapitre 7. Des recommandations sont proposées à l'entreprise.



## **Chapitre 4**

### **Présentation du cas Metro**

Chaque centre de distribution a des caractéristiques et des contraintes bien à lui. L'objectif de ce mémoire est de comprendre l'interrelation des acteurs et l'effet de la variabilité du comportement des fournisseurs et du centre de distribution sur la performance du processus de réception. Nous étudierons plus précisément le cas du centre de distribution de l'entreprise Metro afin d'avoir en mains des données représentatives d'une situation réelle. Toutefois, nous croyons que la compréhension de l'interrelation des acteurs d'un centre de distribution peut se transposer à d'autres CD de la même industrie et de la même région. La première section du chapitre 4 détaille le contexte de l'entreprise et le processus étudié. Les sections suivantes décrivent la réalisation de la démarche de recherche en lien avec la réalité opérationnelle de l'entreprise. La définition du problème et la description des données d'entrée, soit les comportements, les variables, les attributs, les règles de décisions et les mesures de performance, seront définies dans ce chapitre.

#### **4.1 Processus étudié**

Chef de file de son industrie, Metro œuvre dans le milieu de la distribution alimentaire et pharmaceutique au Québec et en Ontario depuis 70 ans. Avec plus de 65 000 employés et un chiffre d'affaires de plus de 13 milliards de dollars en 2017 (Metro, 2018), Metro se démarque de ses concurrents par des produits de qualité et un niveau de service élevé. Au Québec, Metro a pris la décision de centraliser l'entreposage de ses produits dans huit centres de distribution selon la catégorie de produits. Actuellement, le centre de distribution situé à Laval assure la réception des produits de la catégorie des fruits et légumes ainsi que des produits laitiers et a atteint un chiffre d'affaires d'environ 2 milliards de dollars en 2017. Ce centre de distribution embauche environ 450 employés syndiqués, 25 cadres et 100 employés de support répartis dans les départements de l'assurance qualité, des achats, de la mise en marché et du service à la clientèle (Metro, 2018). Dans le cadre de ce mémoire, nous étudierons seulement la réception des remorques de fruits et légumes de ce centre de distribution pour plusieurs raisons. Premièrement, la connaissance de ce milieu de travail et des membres de la direction par

l'auteure principale, qui a travaillé pendant 18 mois à titre de contremaître, permet de mieux comprendre ces activités en particulier. Deuxièmement, le centre de distribution situé à Laval est le plus récent des huit du Québec et possède le plus grand volume de réception atteignant en moyenne 850 000 caisses par semaine provenant de plus de 300 fournisseurs. Finalement, le choix de prendre uniquement la réception des fruits et légumes a été motivé par la simplicité de la collecte de données via des rapports du programme de prise de rendez-vous de l'entreprise. Au moment de la collecte, ce programme ne prenait pas en compte la réception des produits laitiers. De plus, la réception des produits laitiers se fait principalement sur le quart de jour et de nuit et nécessite seulement deux à trois équipes de réception par jour, contrairement à la réception des fruits et légumes qui occupe une dizaine d'équipes quotidiennement, qui se déroule sur sept jours et sur tous les quarts de travail, bien qu'elle soit concentrée sur le quart de jour.

Un processus de réception de remorques se résume à la prise d'un rendez-vous par le fournisseur, l'arrivée de la remorque au centre de distribution, le déchargement de celle-ci, puis le départ de la remorque. Lorsque le département des achats conclut une transaction avec un fournisseur, ce dernier est tenu de prendre rendez-vous sur le site de réservation de Metro afin de réserver un rendez-vous selon les disponibilités du CD et du fournisseur. Un responsable de la prise de rendez-vous assure le bon déroulement de cette étape. Pour répondre à la question de recherche *Comment la variabilité du comportement du fournisseur et celle du centre de distribution affecte la performance du processus de réception de remorques d'un centre de distribution*, le début du processus est l'arrivée d'une remorque à la guérite du centre de distribution et la fin du processus est le départ de cette remorque. Le processus peut sembler simple, mais celui-ci comporte en réalité 39 étapes. Elles sont présentées dans la cartographique de la figure 5.

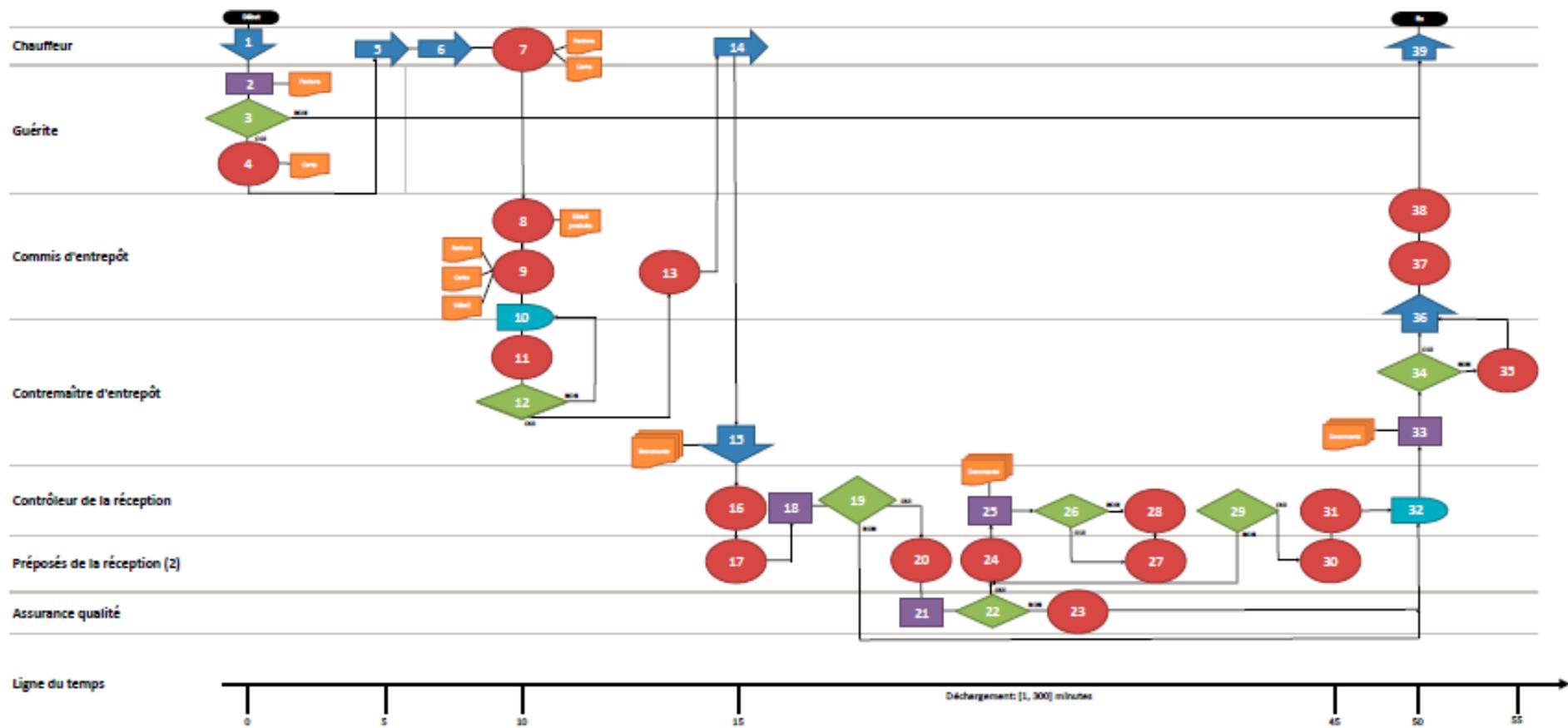


Figure 5 - Cartographie du processus de réception de remorques



Le processus de réception débute lors de l'arrivée d'un camion à la guérite du centre de distribution (1). Il y a un contrôle de la remorque et de la validité de la facture qui est effectué par un employé à la guérite (2). Si le chauffeur arrive à l'intérieur d'un intervalle de 24h de son rendez-vous, il peut entrer sur le site et se présenter au bureau des commis du centre de distribution (3). Sinon, il doit rebrousser chemin et reprendre rendez-vous. L'employé à la guérite imprime une carte de contrôle qui permet d'identifier le bon de commande associé à la remorque (4). Ce moment est identifié comme l'heure d'arrivée de la remorque. Le chauffeur doit aller stationner sa remorque à l'aire d'attente dans la cour (5) et se diriger à pied vers le bureau des commis de la réception (6). Les étapes 1 à 6 représentent l'arrivée du chauffeur et sont présentées à la figure 6.

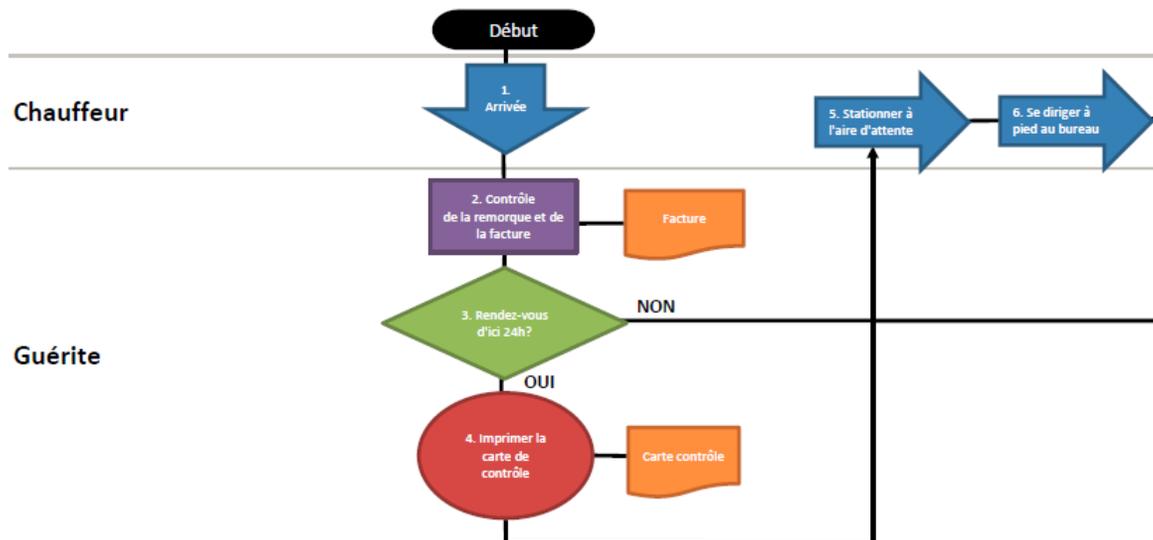


Figure 6 - Étapes 1 à 6 du processus de réception de remorques

Une fois les documents remis au commis du centre de distribution (7), ce dernier imprime le détail des produits via un document spécifique (8) et joint tous les documents ensemble (9). Le chauffeur attend la décision du contremaître pour se faire décharger (10). Selon les règles de priorité (11) et la disponibilité d'une équipe de déchargement, le contremaître donne accès au déchargement (12). Le commis appelle le chauffeur et lui indique la porte du quai où se stationner (13). Les étapes 8 à 13 sont présentées à la figure 7.

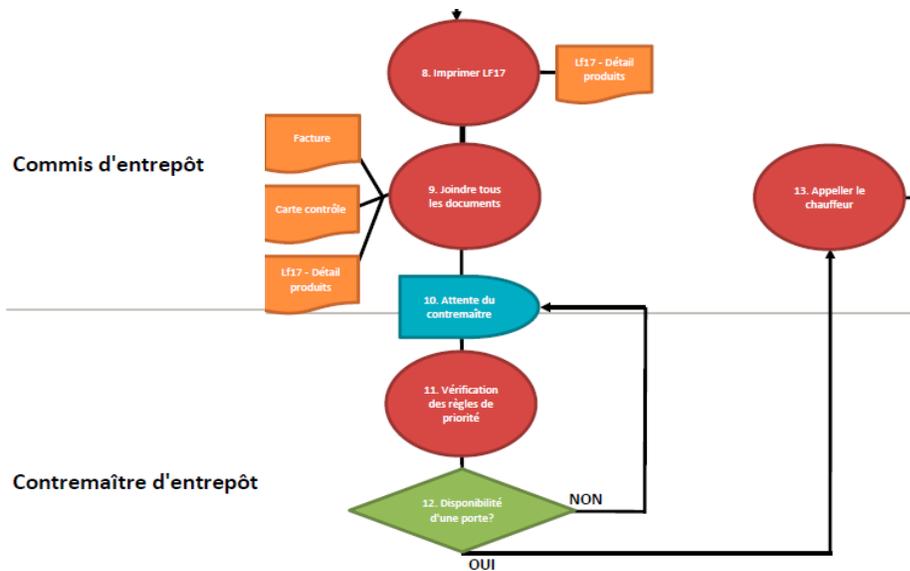


Figure 7 - Étapes 8 à 13 du processus de réception de remorques

Le chauffeur va ensuite se stationner rapidement à la porte indiquée (14). Simultanément, le contremaître va porter les documents à l'équipe de réception (15). Le début du déchargement commence lors de l'ouverture du bon de commande dans le système par le contrôleur prêt à réceptionner la remorque (16). L'équipe de réception est composée de deux préposés, qui s'occupent d'ouvrir la porte de la remorque (17) et d'un contrôleur, qui vérifie le numéro et la sécurité de la remorque (18-19). Les préposés sortent une palette de chaque produit de la remorque (20) afin qu'un employé de l'assurance qualité vérifie la qualité des produits (21-22) et indique le refus des palettes si nécessaire (23). L'employé de l'assurance qualité ne fait pas partie de l'équipe de réception. Lorsque le bon de commande est accepté, les préposés déchargent les palettes de la remorque et le contrôleur vérifie le type de produit et la quantité commandée, en plus de donner les indications aux deux préposés de réception lorsqu'il y a un besoin de dépilage (26). Si plusieurs déchargements commencent en même temps, la vérification de la qualité se fera au cours du déchargement. Il n'y a donc pas de goulot d'étranglement pour l'attente d'un employé de l'assurance qualité. Les étapes 16 à 26 sont présentées à la figure 8.

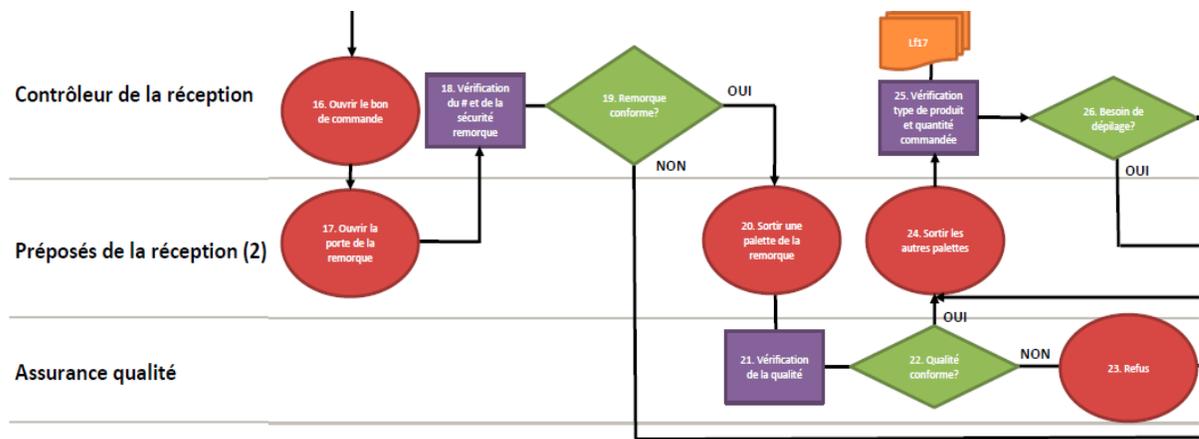


Figure 8 - Étapes 16 à 26 du processus de réception de remorques

Le dépilage est l'action de déplacer une partie des produits précédemment empilés sur une seule palette multiproduit à d'autres palettes, uniproducts, afin de pouvoir les entreposer séparément (27). Une palette uniproduct peut aussi nécessiter du dépilage si celle-ci ne respecte pas la hauteur ou la largeur des paletiers ou des normes de sécurité Metro. Les palettes sont ensuite étiquetées par le contrôleur (28). Une fois le déchargement complété, les préposés ferment la porte de la remorque (30), indiquant au chauffeur la fin du déchargement et le contrôleur ferme le bon de commande dans le système (31). Il s'agit de l'heure de fin du déchargement. Les documents sont remis au contremaître qui valide la fin du déchargement et effectuent les modifications si nécessaires (32 à 36). Les étapes 27 à 32 représentent le temps de déchargement et sont présentées à la figure 9.

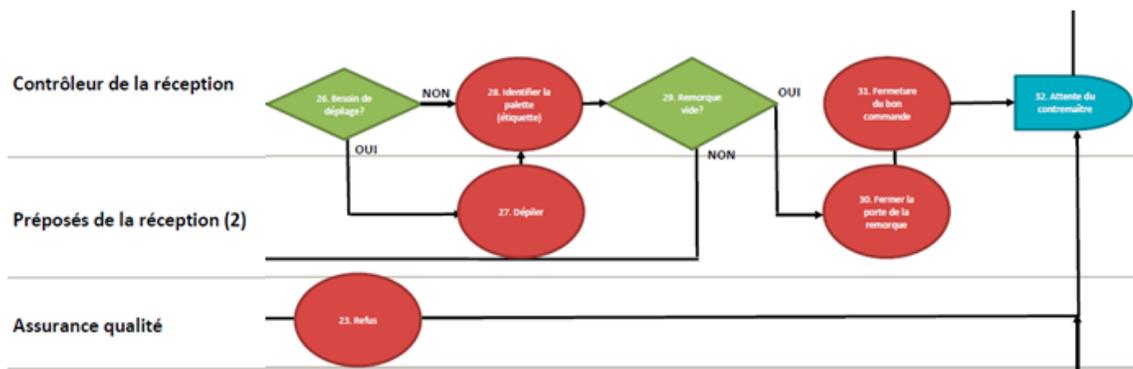


Figure 9- Étapes 26 à 32 du processus de réception de remorques

Le chauffeur peut ensuite quitter le site. L'heure de départ est notée lorsque le chauffeur passe à la guérite extérieure du site (39). Pour résumer, les trois moments importants pour la simulation sont l'heure d'arrivée (4), le début du déchargement (16) et la fin du déchargement (31). La durée du processus dépend principalement de l'attente entre l'arrivée de la remorque et la disponibilité des ressources (10) ainsi que le temps de déchargement de la remorque, qui dépend de la productivité des employés, le taux d'utilisation de ceux-ci, le niveau de difficulté des remorques, etc. (16 à 31). En supposant un temps d'attente de début de déchargement nul et un temps moyen de déchargement de 30 minutes, la durée du processus est d'environ 50 minutes. Ces temps ont été déterminés en se basant sur l'expérience de l'auteure.

## **4.2 Définition du problème**

Le problème a été soulevé lors de l'emploi étudiant de l'auteure au centre de distribution Metro. Travaillant de pair avec l'équipe de réception, son rôle était principalement d'affecter les équipes de déchargement aux remorques et d'appliquer les règles de priorisation des remorques selon le contexte. Le contremaître est donc en étroite relation à la fois avec les chauffeurs de remorques, les commis qui s'occupent de l'accueil et l'appel des chauffeurs ainsi que les équipes de déchargement qui comptent un contrôleur et deux préposés par équipe. Il occupe aussi le rôle de liaison entre les fournisseurs et le département du transport. Le principal problème qui a été identifié est que lorsqu'un des acteurs a un comportement divergent par rapport à l'horaire établi, cela a un effet important sur la performance du processus global de réception.

D'une part, les fournisseurs souhaitent attendre le moins possible afin de réduire leurs coûts d'exploitation et d'assurer le respect de la suite de leurs routes. De l'autre côté, le centre de distribution doit s'assurer de répondre aux commandes de ses clients. Cela implique de prioriser certaines remorques, même si elles sont en retard, afin de décharger rapidement la marchandise et compléter les commandes qui doivent être expédiées vers les magasins. En tant que contremaître, il arrive aussi de recevoir des pressions du département des achats, afin de prioriser une remorque pour respecter une entente, ou du département du transport, afin de récupérer des remorques vides pour effectuer leurs

propres routes. De plus, le centre de distribution doit prévoir le temps de déchargement de chaque remorque afin de créer un horaire de rendez-vous pour les fournisseurs. Il existe donc deux groupes distincts d'acteurs ayant un impact sur le processus, soit les fournisseurs, qui représentent les intérêts du chauffeur et du transporteur, ainsi que le centre de distribution, qui regroupe le comportement des gestionnaires, de l'équipe de déchargement, du département des achats, du département de transport et des décisions de la direction. Bref, l'objectif principal de ces deux groupes est le même, soit celui de décharger les remorques le plus rapidement possible. Toutefois, le comportement observé au cours de l'expérience professionnelle de l'auteure a démontré qu'il y a des divergences entre la réalité opérationnelle et la planification.

Actuellement, le mécontentement des deux groupes d'acteurs pose un problème. Les fournisseurs se plaignent des longs temps d'attente. Le centre de distribution, quant à lui, doit constamment ajuster la planification et l'affectation des remorques en temps réel selon les remorques disponibles. Cela affecte les mesures de performance et crée du mécontentement chez les employés du centre de distribution. Les observations de l'auteur lors de son expérience permettent d'affirmer que les fournisseurs ne respectent pas toujours le rendez-vous planifié, que les règles de priorisation des remorques déchargées varient selon le contexte, ce qui implique que des bons de commande ne sont pas déchargés à l'heure prévue et que le temps de déchargement planifié d'un bon de commande n'est parfois pas respecté. Nous souhaitons reproduire ce système en utilisant la simulation à événements discrets afin de répliquer des scénarios impliquant des changements de comportements et ainsi évaluer l'impact sur la performance du processus. Les prochaines sections du chapitre présentent les informations pertinentes à identifier pour reproduire ce système telles que les données d'entrée, le comportement des acteurs, les variables du modèle de simulation, les attributs des bons de commande, les règles de décision ainsi que les mesures de performance.

### **4.3 Description des données d'entrée**

L'utilisation de la simulation comme méthodologie de recherche implique l'introduction de données d'entrée. Ces données alimentent le moteur de la simulation. Elles peuvent être fixes ou provenir d'une distribution aléatoire. Dans le cas de la reproduction de notre système, les données d'entrée sont fixes, car nous simulons uniquement la prise de décision du centre de distribution. Nous ne simulons pas la prise de rendez-vous qui crée l'horaire. Ces données d'entrée sont la date et l'heure d'arrivée de la remorque sur le site, de leur rendez-vous ainsi que le temps de déchargement. La date et l'heure de début et de fin de déchargement permettent de déterminer le temps de déchargement. Les données de la date et l'heure de début de déchargement permettent aussi d'obtenir le temps d'attente entre l'arrivée des remorques et le début de leur déchargement. À partir d'une base de données EXCEL, elles alimentent le moteur de la simulation. Une fois le système reproduit, l'introduction de scénarios impliquant un changement de comportements du fournisseur et du centre de distribution nous permettra d'évaluer leur impact sur les mesures de performance du système. Pour créer ces scénarios, nous allons d'abord tenter d'identifier les facteurs qui font varier ces comportements. Les données d'entrée devront donc aussi être analysées. Nous étudierons la variabilité des écarts entre ce qui était prévu à l'horaire et ce qui s'est réellement passé. La prochaine section décrit plus en détail les comportements des acteurs et les écarts de temps entre la planification et la réalité opérationnelle.

### **4.4 Description des comportements**

En se fiant à la cartographie du processus présenté à la section 4.1 de ce chapitre, trois événements principaux peuvent influencer la performance du processus de réception de remorques : (1) l'arrivée des fournisseurs en fonction de leur rendez-vous, (2) la prise de décision du CD quant au moment de débiter le déchargement d'un bon de commande ainsi que (3) le temps utilisé par le CD pour décharger la remorque. Ces comportements seront modifiés à l'aide de scénarios dans la simulation. Une analyse statistique est préalable afin de vérifier si des facteurs indépendants ont un impact sur le comportement

des acteurs et s'il y a présence de différences significatives entre les groupes étudiés. Ainsi, les prochaines sections définissent les trois comportements étudiés.

#### **4.4.1 Écart d'arrivée du fournisseur**

Afin de définir le comportement du fournisseur dans le processus de réception d'une remorque, nous nous sommes basés sur la cartographie du processus étudié. Le seul moment où le fournisseur a un impact sur le processus est au moment de son arrivée. Que ce soit prévu ou non, le fournisseur peut respecter ou ne pas respecter l'heure de rendez-vous. L'écart qui permet de définir ce comportement est l'écart entre le moment du rendez-vous planifié et le moment d'arrivée réel de la remorque au centre de distribution. L'heure d'arrivée est le moment où la remorque est à la guérite du centre de distribution et où le bon de commande est confirmé dans le système. L'écart d'arrivée s'obtient par la différence entre l'heure du rendez-vous et le moment où elle se présente à la guérite. Si le résultat est négatif, cela signifie que la remorque est en avance sur son heure de rendez-vous. Si le résultat de l'écart est positif, la remorque n'a pas respecté son rendez-vous.

#### **4.4.2 Écart du début de déchargement**

Le comportement du centre de distribution se retrouve quant à lui à deux endroits dans la cartographie du processus. En se référant à la cartographie présentée dans la section 4.1 de ce chapitre, les employés du centre de distribution consultent les règles de priorisation (étape 11) et déterminent le début de déchargement par l'affectation d'un bon de commande à une porte (étape 12). Ils peuvent aussi refuser le déchargement d'une remorque (étapes 19 et 22), ce qui crée un intervalle de temps libre dans l'horaire. Par contre, les enjeux de sécurité de la remorque ou de la palettisation ainsi que l'assurance qualité des produits, qui influencent le refus ou non d'une remorque, sont effectivement sous le jugement des employés du CD, mais ils ne représentent pas un comportement qui sera étudié. Le refus d'une remorque est la conséquence d'un mauvais comportement préalable, du transporteur ou du fournisseur, qui ne répond pas aux standards de l'entreprise. Selon les données récoltées, le temps consacré à une remorque refusée n'est pas calculé, puisque le bon de commande est considéré comme non réceptionné. Nous ne pouvons donc pas considérer cet élément dans le comportement du fournisseur ni celui du

centre de distribution, car nous ne connaissons pas la raison du refus avec les données fournies. Le pourcentage de bons de commande qui ont été refusés sera tout de même pris en compte dans la simulation pour reproduire le plus fidèlement possible la situation. Le choix de priorisation des remorques est donc la seule prise de décision qui représente le comportement du centre de distribution sur l'heure de début de déchargement. L'écart sera étudié via une analyse statistique pour identifier les facteurs l'influençant ainsi que les différences significatives entre les groupes. Finalement, dans la simulation, pour certains scénarios, l'écart de début de déchargement sera tiré aléatoirement dans des distributions bâties à partir des analyses statistiques, ce qui permettra d'évaluer l'impact d'un changement de comportement sur la performance du centre de distribution.

La décision de priorisation d'une remorque a un grand impact sur le déroulement des activités du processus de réception de remorques. De nombreuses règles de décision sont mises en place dans le département de la réception des marchandises des organisations afin de répondre à la demande des clients, mais aussi afin de respecter le plus possible l'heure de rendez-vous attribuée aux fournisseurs. L'écart de début de déchargement représente l'attente des fournisseurs en file pour se faire décharger. Pour définir cet écart, deux situations sont possibles.

Le premier cas de figure est lorsque le fournisseur respecte l'heure du rendez-vous, c'est-à-dire que l'écart d'arrivée est négatif; l'écart du début du déchargement est alors calculé entre le moment où le déchargement est commencé et l'heure de rendez-vous moins 15 minutes. Le comportement attendu du centre de distribution est d'ouvrir le bon de commande et de débiter le déchargement au maximum 15 minutes après l'heure de rendez-vous. En effet, étant donné que la donnée qui indique le début du déchargement est le moment où le bon de commande est ouvert par un contrôleur et que le comportement évalué réel correspond au moment de la décision de reculer une remorque, il y a quelques étapes supplémentaires qui doivent être éliminées du calcul, d'où la différence de 15 minutes prise en compte dans le calcul. En effet, entre l'arrivée sur le site et le moment où la décision de déchargement est prise, identifiée aux étapes 4 à 11 de la cartographie du processus présenté dans la section 4.1, il y a environ 5 minutes qui s'écoulent. De plus, entre le moment où la décision du contremaître de décharger la remorque est prise et

l'ouverture du bon de commande, les étapes 13, 14 et 15 de la cartographie du processus peuvent prendre en moyenne, jusqu'à 10 minutes, dépendant de la situation. Ces temps sont déterminés à partir de l'expérience de l'auteure. Pour résumer, si l'écart du temps de début est négatif, cela indique que le centre de distribution devance l'horaire, donc débute un déchargement qui était planifié plus tard. À l'inverse si l'écart est positif, cela indique que le centre de distribution est en retard sur l'heure du rendez-vous promis au client.

Le second cas de figure est lorsque le fournisseur est en retard sur son rendez-vous, c'est-à-dire, lorsque l'écart d'arrivée est positif. Cette déviation par rapport à l'horaire planifié a un impact sur le comportement du centre de distribution qui doit ajuster l'horaire afin de décharger cette remorque en retard dans un moment opportun. La décision doit prendre en compte les besoins de l'inventaire, mais aussi réduire au maximum l'impact sur les autres rendez-vous. Étant donné que le rendez-vous n'est pas respecté par le fournisseur, le comportement du centre de distribution ne peut être calculé en fonction du rendez-vous, contrairement au premier cas de figure. Dans ce cas-ci, il est calculé en fonction de l'écart entre l'heure d'arrivée de la remorque sur le site et l'ouverture du bon de commande moins 15 minutes. Ainsi, le comportement du centre de distribution n'est pas altéré par le comportement fautif du fournisseur. Tout comme pour le cas précédent, nous avons pris la décision de considérer les délais normaux du processus et donc de considérer que le centre de distribution est à l'heure même si le début de déchargement est 15 minutes après l'heure d'arrivée de la remorque. Par ailleurs, le résultat de cet écart peut seulement être positif, car il est impossible de le débiter avant l'arrivée du fournisseur.

#### **4.4.3 Écart du temps estimé de déchargement**

Comme il a été mentionné plus haut, le temps de déchargement a aussi une incidence importante sur les mesures de performance du centre de distribution, notamment aux étapes 20, 23 et 26 de la cartographie du processus présenté à la section 4.1. Le troisième comportement étudié est donc la capacité des ressources du centre de distribution à décharger les remorques dans le temps prévu. Le temps de déchargement prévu est une donnée directement accessible depuis les rapports *Warehouse unloading times* du site de réservations C3. C'est le même temps prévu auquel le fournisseur a accès à titre

d'information. Ce temps estimé permet de définir les plages de disponibilité lorsque le fournisseur souhaite prendre son rendez-vous sur la plateforme web. Le calcul du temps de déchargement prend en compte le type de défilage, le nombre de palettes et le nombre de lignes. Ces variables sont définies à la section 4.6.

Le temps réel de déchargement est, quant à lui, une donnée fournie par les rapports de C3 et est calculé par l'écart entre l'ouverture et la fermeture du bon de commande par le contrôleur. Le temps de déchargement réel peut être affecté si celui-ci est coupé d'une pause-repas, d'une pause-repos ou d'un changement de quart. Cette augmentation du temps réel de déchargement par l'inactivité de l'équipe de réception ne doit pas affecter notre estimation. Avant de faire les analyses statistiques, le temps réel de déchargement de chaque bon de commande touché par l'une de ces pauses a été ajusté en conséquence. L'écart de déchargement est le temps réel moins le temps prévu. Si l'écart de déchargement est négatif, cela signifie que les employés ont pris moins de temps que prévu pour décharger le bon de commande. À l'inverse, si l'écart est positif, cela indique que les employés ont pris plus de temps que prévu pour le décharger.

Les données disponibles permettent d'identifier deux sources pour expliquer cet écart. La première source est le comportement des employés qui effectuent le déchargement. L'autre source qui pourrait expliquer cet écart est le calcul qui est utilisé pour estimer le temps de déchargement au moment de prendre le rendez-vous. Le temps de déchargement prévu à l'horaire est issu d'un calcul prenant en compte trois caractéristiques d'un bon de commande. Revoir ce calcul pourrait améliorer la performance du processus de réception de remorques. Par contre, dans le cadre de ce mémoire, nous ne modifierons pas ce calcul, car nous désirons conserver l'horaire historique. Ainsi, nous étudierons seulement les attributs qui peuvent faire varier le temps de déchargement par les employés.

## **4.5 Description des paramètres du système**

Le but des analyses statistiques du comportement des fournisseurs et du centre de distribution est de vérifier si des variables indépendantes ont un impact sur les écarts d'arrivée du fournisseur, de début de déchargement ou de temps de déchargement. Or, il y a une distinction entre les variables du système et les variables d'un bon de commande.

Les variables du système sont les éléments qui influencent le comportement des acteurs de façon uniforme pour tous les bons de commande dans la simulation. Par exemple, les heures de pauses des employés influencent le temps de début de déchargement des remorques toujours de la même façon. Il n'y a pas de changement dans le comportement du fournisseur ou du centre de distribution en lien avec l'heure des pauses. Ces variables sont appelées les paramètres du système. Ils ne sont pas étudiés dans l'analyse statistique des écarts, car ils n'ont pas d'influence sur le comportement des acteurs. Dans la simulation, le nombre d'équipes de réception disponible, les heures de pauses-repas, de pause-repos et de changement de quart, ainsi que la présence d'un produit manquant dans une remorque seront considérés comme des paramètres du système. Lors d'une pause, toutes les activités de la réception sont arrêtées

La présence d'un produit manquant pourrait être considérée comme une variable propre à un bon de commande. Or, cette variable est influencée par le niveau de l'inventaire et par les commandes des clients, et non par le bon de commande. De plus, nous n'avons pas l'information nécessaire pour identifier ces bons de commande. Ainsi, un pourcentage fixe de bon de commande sera considéré afin d'identifier un bon de commande ayant un produit manquant. Ce pourcentage a été évalué par l'auteure en se basant sur son expérience.

#### **4.6 Description des attributs des bons de commande**

Les variables indépendantes, propres à chaque bon de commande, sont appelées des attributs. Ces attributs influencent le comportement des acteurs, mais de façon distincte entre chaque bon de commande. Sur la base de notre expérience et des données disponibles, nous allons considérer les sept attributs d'un bon de commande suivants : le type de fournisseur, le quart de travail, le type de dépilage, le nombre de lignes, le nombre de palettes ainsi que le jour et le mois du bon de commande.

Le but de l'analyse des données est d'identifier les facteurs qui influencent les trois comportements étudiés : l'arrivée du fournisseur, le début du déchargement et le temps de déchargement afin de créer des scénarios dans la simulation. Nous tenterons de comprendre quel est l'effet des différents attributs d'un bon de commande sur la

variabilité des comportements des fournisseurs et du centre de distribution grâce à des tests significatifs. Nous tenterons aussi de mettre de l'avant certaines corrélations entre les attributs qui ont une influence sur les comportements identifiés. Puisque les distributions des variables ne sont pas normales, nous utiliserons le test statistique *Kruskal-Wallis*, combiné au test post-hoc *Dunn*, pour comparer la variance des groupes et déterminer de façon significative une différence entre elles. Ce test particulièrement conservateur nous indique si les groupes formés par une variable, dans notre cas un attribut, présentent des différences significatives au niveau du comportement, dans notre cas, un écart. Ainsi, dans la simulation, nous pourrions modifier certains comportements en fonction des attributs des bons de commande. La prochaine section présente les sept attributs d'un bon de commande.

#### **4.6.1 Type de fournisseur**

Le premier attribut étudié est le type de fournisseur. Nous allons séparer les fournisseurs selon une classification ABC pour distinguer les fournisseurs principaux des occasionnels. Le but en regroupant les fournisseurs par catégorie est aussi de vérifier si un comportement peut être attribuable à un type de fournisseur selon sa fréquence de passage au centre de distribution. La classification se retrouve à la phase 2 du nettoyage, dans le chapitre 5.

#### **4.6.2 Quart de travail**

Le deuxième attribut étudié est le quart de travail. Le comportement du fournisseur et du centre de distribution peut être sujet à des changements selon le moment de la journée, l'expérience moyenne des équipes de réception et les règles de décision utilisées sur un quart de travail. Nous cherchons à savoir si un comportement a tendance à être plus significatif sur un quart de travail spécifique. Les heures de travail utilisées sont de 6h à 14h pour le quart de jour, 14h à 22h30 pour le quart de soir et 22h30 à 6h pour le quart de nuit. Pour bien illustrer la planification de l'horaire et la réalité opérationnelle, nous avons décidé d'utiliser deux données de quart de travail : le quart de travail où le rendez-vous est planifié et le quart de travail où le travail est débuté. En utilisant les heures de rendez-vous et les heures de début de déchargement, nous avons attribué à chaque bon de

commande ces deux données. L'utilisation de l'un des deux attributs sera indiquée selon le contexte du test à effectuer. Par exemple, le quart de travail où le rendez-vous est planifié sera utilisé pour évaluer le comportement du fournisseur, alors que le quart de travail où le déchargement est commencé sera utilisé pour évaluer le comportement du centre de distribution.

#### **4.6.3 Type de dépilage**

Le troisième attribut est le type de dépilage d'un bon de commande. Il représente l'indice de la difficulté de déchargement des palettes d'une remorque. En fait, dans le centre de distribution, pour faciliter le remplissage des locaux et l'identification des palettes, il doit y avoir un seul type de produit par palette, appelé une ligne. De plus, la hauteur et la largeur des produits empilés sur une palette doivent respecter certaines dimensions, selon le type de produit, pour être entreposées dans un paletier et pour des questions de sécurité. À l'inverse, les transporteurs tentent de maximiser le nombre de palettes ou le nombre de produits dans une remorque en mélangeant des produits différents sur une palette et en augmentant la hauteur ou la largeur des produits empilés. À l'arrivée au centre de distribution, les employés doivent parfois déplacer une partie des produits précédemment empilés sur d'autres palettes pour répondre aux normes de l'entreprise. Le dépilage est donc l'étape où les déchargeurs modifient l'allure des palettes afin de faciliter le travail lors de la préparation des commandes. Metro présente trois types de dépilage différents : *1- Aucun dépilage*, *2- Un peu de dépilage* et *3- Beaucoup de dépilage*. Chaque bon de commande a un type de dépilage. Metro a pris la décision d'attribuer le type de dépilage par fournisseur, étant donné que pour la grande majorité, un même fournisseur livre un type de produit en particulier. Le type de dépilage est un des éléments du calcul du temps prévu de déchargement. Le système de rendez-vous C3 prend en considération le temps assigné à chaque bon de commande afin de créer l'horaire de rendez-vous. Il est donc primordial d'avoir cette information pour tous les bons de commande. Nous considérons cet attribut dans l'analyse des écarts, puisque le type de dépilage pourrait influencer le comportement de début de déchargement et celui du temps de déchargement.

#### **4.6.4 Nombre de lignes et de palettes**

Les quatrième et cinquième attributs étudiés sont le nombre de lignes et le nombre de palettes que contient un bon de commande. Le nombre de lignes correspond au nombre de produits différents dans un bon de commande, alors que le nombre de palettes est la quantité de palettes qui seront stockées dans les palettiers. Une remorque contient normalement un maximum de 30 palettes. Cependant, le nombre de palettes considérées est le nombre de palettes qui, une fois dépilées seront mises en stock dans le centre de distribution. Il peut donc y avoir une centaine de palettes reçues dans une seule remorque, si ce sont des produits très variés et de petits formats. Pour faire ressortir un comportement à travers le test de *Dunn*, nous avons décidé de regrouper le nombre de lignes et de palettes en catégories. Nous avons effectué plusieurs tests significatifs en modifiant le nombre de catégories. Les catégories retenues sont celles qui présentent le plus de différences significatives entre chaque paire de catégories. Le nombre de lignes est séparé en cinq catégories, soit de 1 à 5, 6 à 10, 11 à 15, 16 à 20 ainsi que 21 lignes et plus. Le nombre de palettes est aussi divisé en cinq catégories, soit de 1 à 15, 16 à 30, 31 à 45, 46 à 60 ainsi que 61 palettes et plus.

#### **4.6.5 Jour et mois**

Finalement, les deux derniers attributs qui seront pris en compte dans le traitement statistique sont le jour de la semaine et le mois de l'année du rendez-vous du bon de commande. La variable indépendante année n'a pas été retenue, puisque les données récoltées ne s'étendent que sur une période de deux ans. Il est donc difficile de poser une hypothèse ou une conclusion en fonction de cet attribut. Par ailleurs, des tests statistiques préliminaires ont été effectués et aucune tendance significative n'a été révélée.

#### **4.7 Règles de décision**

Les règles de décision qui influencent le déroulement du processus se retrouvent à l'étape 11 de la cartographie. En fait, ces règles de décision sont le choix de priorisation de déchargement d'une remorque et ont un très grand impact sur le comportement du fournisseur, soit celui de respecter le rendez-vous. Elles contribuent donc directement à

l'écart de début de déchargement. La présence d'un produit manquant destiné à des magasins dans le bon de commande, le respect du rendez-vous, le comportement historique du fournisseur et le temps d'attente du chauffeur sont des exemples de règles de priorisation d'une remorque actuellement en place chez Metro. Selon les données recueillies, il n'est pas possible de déterminer les règles de décisions qui ont été appliquées lors du choix de priorisation. En fait, ces règles ne sont pas constantes d'un gestionnaire à l'autre, d'un quart de travail à l'autre et d'une situation à l'autre. Par exemple, dans le modèle de simulation initial représentant la réalité opérationnelle, la présence d'un chauffeur en attente, le respect du rendez-vous par le fournisseur et le type de dépilage est pris en compte dans les règles de priorisation. Nous reflétons le choix de priorisation du déchargement des remorques effectué par les gestionnaires de la réception de Metro. Dans la simulation, les scénarios feront varier l'application de ces règles sur le choix de priorisation des remorques.

#### **4.8 Description des mesures de performance**

Les mesures de performance qui seront utilisées dans la simulation doivent pouvoir refléter le comportement des acteurs ainsi que la performance du processus de réception, puisque c'est ce que l'on cherche à comprendre. En s'inspirant des mesures actuellement en place chez Metro, les mesures qui nous permettront de mesurer l'efficacité du processus de réception de remorques sont le temps d'attente global des fournisseurs en file d'attente, l'écart de début de déchargement, soit la capacité du centre de distribution à respecter le rendez-vous planifié, ainsi que le nombre de bons de commande déchargés selon l'écart d'arrivée du fournisseur et l'écart de début de déchargement.



## Chapitre 5

# Analyses statistiques

Les analyses statistiques des données recueillies nous permettent de quantifier l'interrelation des acteurs et la variabilité des comportements. La première section du chapitre 5 porte essentiellement sur la collecte de données. Or, à la suite de la collecte des données brutes, il est difficile d'effectuer des analyses. La deuxième section du chapitre présente le nettoyage des données récoltées. La dernière section aborde le traitement statistique ainsi que les conclusions tirées sur le comportement des acteurs dans le processus étudié.

### 5.1 Collecte des données

La collecte des données s'est effectuée au mois de juillet 2017. Elle regroupe tous les bons de commande qui ont été enregistrés depuis l'instauration du système de rendez-vous C3, une plate-forme où les fournisseurs prennent directement leur rendez-vous selon la disponibilité de plages horaires préétablies. L'extraction des données couvre les bons de commande des produits reçus du 1<sup>er</sup> juillet 2015 au 30 juin 2017, soit 24 mois ou 71 865 bons de commande.

La figure 10 illustre un extrait d'une ligne du fichier EXCEL d'un rapport *Warehouse unloading times* du site de réservations C3 qui regroupe les bons de commande d'une période donnée, ici en mois, et fournit plusieurs informations rattachées au bon de commande dans l'ordre suivant : le numéro de l'acheteur (A), le numéro du bon de commande (B), l'identification ou non d'un *backhaul* (C), soit lorsque la charge du transport entrant est imputée à Metro, le nombre de palettes (D), le numéro de la réservation (E), le nom du fournisseur (F), le numéro de la remorque (G), le nom du transporteur (H), la date et l'heure du rendez-vous (I), de l'arrivée de la remorque (J), du début (K) et de la fin du déchargement (L), du départ de la remorque (M), le temps de déchargement réel (N) et assigné (O), l'écart du temps estimé de déchargement (P), le délai d'arrivée de la remorque (Q), le numéro du fichier lorsque deux bons de commande sont dans la même remorque (R), l'heure projetée du nouveau rendez-vous s'il y a refus

(S) et finalement, le nombre de lignes de produits dans le bon de commande (T). Ces données permettent d'identifier les données d'entrée, les comportements, par un calcul d'écart, et les attributs de chaque bon de commande.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
# Acheteur	# BC	Backhaul	Palettes Entrepôt	Reservation #	Fournisseur.Name	Trailer#	Processus Id.Transporteur.Name	Appointment Time
219	13608015		29	84995	AMS FAMILY S.A	TRIU8061176	Valgui Transport inc	09/01/2017 10:30

J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
Arrival Time	Unloading Start	Unloading End	Departed	Unloading Time Used	Unloading time assigned	Processus Id.Arrival Delay	# Fichier	Processus Id.Heure Rejeté	Nombre de Lignes
09/01/2017 10:54	09/01/2017 12:53	09/01/2017 13:21	10/01/2017 07:46	00:28:00	01:30:00	00:24:11	110604		1

Figure 10 - Extrait du fichier EXCEL d'un rapport: *Warehouse unloading times*

## 5.2 Nettoyage des données

Lors de l'extraction des rapports *Warehouse unloading times* du site de réservations C3, nous avons 71 865 bons de commande. La lecture rapide des données et la création de tableaux croisés dynamiques pour résumer l'ensemble des données ont fait ressortir des éléments erronés et incomplets. Cela peut être dû à une mauvaise entrée de données ou à un manque d'information dans une base de données d'où l'information a été tirée. Rham et Do (2000) expliquent qu'en raison de la vaste gamme et du grand volume d'incohérences possibles dans les données, le nettoyage des données est considéré comme l'un des plus gros problèmes dans l'entreposage de données. Un grand nombre d'outils et de fonctionnalités sont disponibles pour supporter le nettoyage de données, mais souvent une partie importante du travail de nettoyage et de transformation doit être faite manuellement ou par des programmes de bas niveau (Rham et Do, 2000). L'expérience de l'auteure et l'accès aux ressources internes de l'entreprise ont permis d'assurer un bon nettoyage des données. Pour répondre à la question de recherche, deux bases de données différentes sont nécessaires. Premièrement, nous voulons connaître les facteurs qui ont une influence sur les écarts du comportement des fournisseurs et du centre de distribution. Pour y arriver, nous devons analyser le comportement normal des acteurs, en excluant les cas particuliers. Par exemple, les bons de commande sans chauffeur en attente sont gérés différemment des autres. Ainsi, la première base de données doit éliminer tous les bons de commande qui présentent des informations incomplètes, inexactes ou des

comportements particuliers à une situation. Cette base de données a pour but de réaliser le traitement statistique et ainsi connaître la distribution associée à chaque comportement en fonction des variables indépendantes. Deuxièmement, pour répondre à la question de recherche, nous voulons mesurer l'impact des comportements des fournisseurs et du centre de distribution sur la performance du processus de réception de remorques. Nous avons choisi la simulation comme méthodologie de recherche. Ainsi, la seconde base de données sert de données d'entrée au simulateur. Pour assurer le réalisme de la simulation, certaines données mises à l'écart pour l'analyse statistique du comportement normal sont reprises dans la seconde base de données. Les bons de commande avec des informations incomplètes ou inexacts ont été générés grâce aux distributions obtenues durant le traitement statistique. Les seules données supprimées sont celles qui représentent des bons de commande en double. Les prochaines sections décrivent les phases de nettoyage et le nombre de bons de commande retenus dans chacune des bases de données.

### **5.2.1 Phase 1**

La première phase de nettoyage vise à éliminer les bons de commande qui n'ont pas été reçus, qui ont des informations incomplètes ou erronées ou qui sont présents en double. Le nettoyage a débuté par l'élimination des bons de commande qui n'ont pas été reçus, soient 3737 bons de commande. En fait, 144 bons ont été rejetés par le département de la qualité, 3124 ont été reportés et 469 ne se sont jamais présentés. La cueillette ne permet pas de déterminer si les remorques rejetées par la qualité avaient été déchargées et dépilées, partiellement ou complètement, avant le verdict de l'équipe qualité, faussant ainsi les autres informations reliées au bon de commande, dont le temps de déchargement réel. Ces bons de commande seront supprimés de la base de données destinée à l'analyse statistique, mais les données d'arrivée seront conservées tel quel pour les données d'entrée de la simulation. L'information concernant les bons de commande qui ont été déplacés d'heure ou de jour par l'acheteur avant l'arrivée de la remorque a probablement été transmise aux employés du centre de distribution. Ainsi, ces bons de commande ne sont plus planifiés et doivent être supprimés de la base de données pour l'analyse statistique et la simulation. Que le rendez-vous soit devancé ou retardé, ce déplacement crée une nouvelle ligne de donnée dans la base, avec le même numéro de bon de commande. Il est

donc impératif de supprimer l'ancienne donnée pour ne pas dupliquer les informations. Finalement, les bons de commande qui avaient un rendez-vous assigné, mais pour lesquels le fournisseur ne s'est jamais présenté au centre de distribution, doivent aussi être supprimés pour l'analyse statistique, car l'information de l'heure réelle d'arrivée et du temps de déchargement est incomplète. Par contre, ces bons de commande seront intégrés à la simulation, car ils occupent une plage horaire même s'ils n'ont pas été reçus. Cela crée une opportunité de devancer un rendez-vous ou rattraper un retard.

La seconde vague d'élimination de bons de commande concerne les 299 bons qui ont des informations incomplètes ou erronées. En fait, pour 87 bons de commande reçus, il manque des informations cruciales telles que le temps de déchargement prévu ou le numéro de bon de commande. Par exemple, dans le mois de juillet 2015, 51 lignes de données ne présentent aucun temps assigné au rendez-vous. Ce manque d'info provient sûrement du fait que le système de réservation C3 a été mis en service à cette période. L'absence de numéro de bon de commande, utilisé comme unité de référence, représente la suppression de 36 bons de commande aux mois de décembre 2015, janvier et février 2016. Finalement, 212 bons de commande présentent des informations erronées. Parmi ceux-ci, les bons de commande qui ont un temps de déchargement très faible par rapport au nombre de palettes à décharger semblent présenter une fausse réalité. En effet, il peut arriver que les préposés à la réception commencent à décharger la remorque avant que le contrôleur ouvre le bon de commande. Ce temps de déchargement irréaliste n'est donc pas pris en compte dans les données. Pour éliminer les bons de commande qui présentent un temps de déchargement peu probable, nous avons fixé la règle suivante : un temps de déchargement d'une minute et moins est impossible pour des bons de commande de dix palettes et plus. Selon l'expérience de l'auteure, une palette au centre de la remorque prend environ 10 secondes à être déchargée (sans dépilage, contrôle, etc). Les bons de commande présentant un temps de déchargement d'une minute et moins, alors qu'ils ont plus de 10 palettes à décharger ont été éliminés de la base de données. De plus, ce nettoyage permet d'éliminer les bons de commande qui sont ouverts et fermés immédiatement, mais déchargés plus tard et dont la présence dans la base de données fausse les analyses. Ces 299 bons de commande ont été supprimés de la base de données

pour le traitement statistique. Par contre, les informations manquantes ou erronées seront générées à l'aide des distributions obtenues par l'analyse statistique pour la base de données de la simulation.

La dernière étape de cette première phase de nettoyage a été d'éliminer les bons de commande en double. Pour une raison indéterminée, 1 498 bons de commande avec exactement les mêmes informations telles que le fournisseur, la date et l'heure de rendez-vous, d'arrivée, du début et de la fin du déchargement ainsi que le temps de départ, étaient présents, mais sous un numéro de bon de commande différent. Ces données ont été supprimées, autant pour l'analyse statistique que pour la simulation.

À la suite de cette première phase de nettoyage, la base de données dédiée au traitement statistique est passée de 71 865 bons de commande à 66 331, soit 92% du nombre initial.

### **5.2.2 Phase 2**

La deuxième phase de nettoyage a pour but d'identifier parmi les 66 331 bons de commande, le type de dépilage. La difficulté est qu'aucun rapport ne permet de générer une liste des fournisseurs et leur catégorie de dépilage attribuée. Le travail manuel entre plusieurs tableaux nous a permis de dresser une liste exhaustive des fournisseurs et leur catégorie respective (1, 2 ou 3). Par contre, plusieurs fournisseurs inscrits dans le système C3 n'ont pas de catégorie associée (0), tandis que d'autres ne s'y retrouvent pas (#N/A).

L'une des causes du nombre élevé de fournisseurs ne se retrouvant pas dans C3 est la différence dans l'écriture du nom du fournisseur. Alors que certains ont changé avec le temps, d'autres sont tout simplement raccourcis dans le système. Par exemple, Courchesne Larose, un fournisseur qui visite quotidiennement le centre de distribution, apparaît aussi dans le système C3 sous le nom de Larose Co. Cette mince différence ne permet pas de générer des règles s'appliquant à toutes les données. Nous avons donc isolé les fournisseurs avec l'étiquette #N/A et vérifié manuellement si un nom correspondait dans la base de données. Cette dernière étape nous a permis d'avoir une catégorie valide (1, 2 ou 3) pour 92% des données de la phase 2, au lieu de seulement 82% en début de recherche. Pour résumer, 2 017 bons de commande n'ont pas de fournisseur inscrit dans

le système et 3 570 bons de commande ont un fournisseur présent dans le système, mais n'ayant pas de type de dépilage inscrit. Nous avons décidé de ne pas les utiliser pour le traitement statistique puisqu'on souhaite représenter le comportement normal. Comme le calcul du temps de déchargement est en fonction du type de dépilage, il est impossible de connaître le temps prévu pour ces bons de commande. À la suite de cette phase de nettoyage, nous avons conservé 60 744 bons de commande, ce qui correspond à 85% du total initial. Par contre, les informations manquantes de ces bons de commande seront générées pour la base de données du simulateur selon la connaissance des fournisseurs par l'auteure et en se fiant au temps de déchargement inscrit.

Avant de poursuivre la suite du nettoyage de données, nous avons réalisé une classification ABC afin d'identifier les fournisseurs les plus importants, en suivant les pourcentages suggérés par Giroux (2014). Ainsi, la catégorie A regroupe un petit nombre de fournisseurs qui viennent plusieurs fois par semaine au centre de distribution, représentant un grand volume de bons de commande par année. La borne inférieure de cette catégorie a été fixée à 350 bons de commande et plus pour les deux ans d'activités enregistrées afin d'obtenir près de 15% des fournisseurs et plus de 60% des bons de commande. Cela signifie que pour faire partie de cette catégorie, un fournisseur doit avoir livré 350 bons de commande et plus dans les deux dernières années. En moyenne, un fournisseur de la catégorie A est venu plus de trois fois par semaine au CD. Cela représente 45 fournisseurs clés, soit 14% des fournisseurs et 62% des bons de commande, soit 37 850.

La catégorie B représente quant à elle les fournisseurs importants, mais qui ont un moins grand volume d'activité que les fournisseurs A. La borne inférieure de cette catégorie a été fixée à 100 bons de commande pour les deux dernières années d'activités afin d'obtenir près de 30% des fournisseurs pour cette même proportion de bons de commande. Les 89 fournisseurs inscrits dans cette catégorie représentent 28% des fournisseurs totaux et 27% des bons de commande, soit 16 522. Un fournisseur de la catégorie B vient en moyenne une fois par semaine au centre de distribution.

Finalement, la catégorie C représente les fournisseurs occasionnels ayant moins de 100 bons de commande à leur actif dans les deux dernières années. Cette borne a été fixée afin d’obtenir plus de 50% des fournisseurs, mais moins de 10% des bons de commande. Ces 180 fournisseurs représentent 57% des fournisseurs totaux, mais seulement 6 372 bons de commande, soit un mince 10% de tous les bons de commande comptabilisés. Les résultats de la classification sont illustrés au tableau 2.

Tableau 2 : Classification ABC des fournisseurs

Classification ABC	Nombre de fournisseurs	Nombre de bons de commande
A - 350 bons de commande et plus	45 (14%)	37 850 (62%)
B – Entre 100 et 349 bons de commande	89 (28%)	16 522 (27%)
C – 1 à 99 bons de commande	180 (57%)	6 372 (10%)

Étant donné que la troisième phase de nettoyage élimine de nombreux bons de commande qui sont pertinents, mais ne correspondent pas aux comportements analysés, nous avons décidé de garder la classification des fournisseurs réalisée à cette étape. Ainsi, les classes associées aux fournisseurs représentent mieux le volume réel des bons de commande des deux dernières années.

### 5.2.3 Phase 3

Alors que les deux premières phases de nettoyage sont réalisées sur des données par mois, sur EXCEL, la troisième phase de nettoyage s’est effectuée sur le logiciel STATA. Ce logiciel statistique permet de réaliser des analyses plus facilement et rapidement que sur EXCEL étant donné le nombre important de données. Une fois la base de données de 60 744 bons de commande formée, la troisième phase de nettoyage a pour but d’éliminer les bons de commande absurdes qui n’ont pas été repérés dans les phases préliminaires, qui ne sont pas soumis aux mêmes règles de décision lors du choix de priorisation de déchargement de remorques ou qui ne font pas partie du processus étudié.

Tout d'abord, grâce à différents tris et filtres, nous avons pu identifier 952 bons de commande présentant des données aberrantes. Par exemple, des bons de commande avec un nombre de lignes à zéro (390), un nombre de palettes à zéro (395) ou à 420 palettes par remorque (1). Certains bons de commande ont des données mal transcrites dans le système (23), alors que d'autres présentent des données irréalistes telles qu'une date et heure de début du déchargement avant la date et l'heure d'arrivée de la remorque (143). Ce nettoyage équivaut à environ 1% des données brutes de départ. Les données erronées seront identifiées et modifiées selon l'expérience de l'auteure et les distributions obtenues seront utilisées pour générer les données manquantes afin d'inclure ces bons de commande dans la simulation.

Un autre problème rencontré lors du nettoyage des données est qu'une remorque contient parfois plusieurs bons de commande. Ces différents bons de commande ont tous la même heure de rendez-vous, la même heure de début et de fin de déchargement. Par contre, l'unité de référence de nos analyses est le bon de commande. Cela signifie que chaque bon de commande devrait être traité comme une livraison différente. Chaque bon de commande devrait avoir une heure de rendez-vous, une heure de début et une heure de fin de déchargement différentes afin de bien représenter chacun des comportements. Actuellement, les données ne représentent pas bien la réalité. Par exemple, une remorque qui contient trois bons de commande, qui ont un temps de déchargement prévu respectif de 30 minutes, devrait, prendre 90 minutes à décharger, soit la somme du temps de déchargement des trois bons de commande. Cependant, la façon dont les données sont traitées est que les bons de commande #1, #2 et #3 prennent chacun 90 minutes, au lieu de 30 minutes. Cela indique que le temps de déchargement prévu (30 minutes) est sous-estimé par rapport au temps de déchargement réel (90 minutes), alors que c'est faux. Les trois bons de commande ont pris exactement le temps assigné. Afin d'analyser le comportement réel du centre de distribution dans le traitement statistique, il ne faut pas prendre en compte les 5 519 remorques touchées par cette problématique, ce qui englobe un total de 13 115 bons de commande. Nous avons décidé d'éliminer ces bons puisqu'on ne connaît pas les données réelles de déchargement de chaque bon de commande individuellement et que le but de l'analyse est de représenter le comportement qui s'est

réellement passé. De plus, il faudrait s'assurer que les employés aient travaillé sur un bon de commande à la fois. L'élimination de ces nombreux bons de commande équivaut à environ 18% des données brutes. Pour intégrer ces bons de commande au simulateur, il faut considérer chaque bon de commande individuellement et assigner une heure de rendez-vous distincte, un à la suite de l'autre. Ainsi, les bons de commande éliminés seront considérés dans le modèle de simulation, mais pas dans l'analyse statistique.

Une autre raison d'éliminer des bons de commande est s'ils ne sont pas soumis aux mêmes règles de décision durant le processus de réception de remorques. Lors du choix de priorisation de déchargement de remorques, la présence d'un chauffeur en attente a un impact sur ce choix. En effet, cela permet au centre de distribution de prioriser les remorques avec chauffeur et de décharger les remorques sans chauffeur lors d'un moment moins achalandé. Plusieurs conditions peuvent permettre à des fournisseurs de laisser leur remorque ou non sur le site du centre de distribution et de revenir la chercher une fois le déchargement complété. Afin d'identifier les remorques sans chauffeur dans la base de données, plusieurs règles ont été mises en place en lien avec ces conditions. Tout d'abord, les bons de commande avec l'identification *backhaul* (4 235), signifiant que la charge du transport entrant est imputée à Metro sont éliminés. Ces chauffeurs ne sont pas en attente puisqu'ils sont affectés à une nouvelle livraison des commandes à expédier vers les magasins. De plus, les bons de commande qui ont un écart entre l'heure de fin de déchargement et de départ de la remorque d'au moins huit heures ou d'une heure de départ plus tôt que l'heure de fin de déchargement ont été mis à l'écart (5 841). Certains fournisseurs ont des ententes particulières avec le centre de distribution afin de laisser une remorque à décharger sur le site sans chauffeur. Nous avons identifié un de ces fournisseurs qui laisse toujours ses remorques sans chauffeur et éliminé les bons de commande associés à ce dernier (1 149). Au total, 11 225 bons de commande sont considérés *sans chauffeur*. Le centre de distribution aura donc un comportement distinct face à ceux-ci comparativement aux autres bons de commande. Ils représentent moins de 16% des données brutes de départ. Ces bons de commande ont été mis à l'écart pour l'analyse statistique des comportements, mais seront inclus dans les données d'entrée du

simulateur. Ils seront identifiés d'un attribut particulier afin de bien répliquer le choix de priorisation des remorques.

La dernière étape de nettoyage a pour but de limiter la base de données aux bons de commande qui font partie du processus étudié. En fait, le centre de distribution étudié n'accepte pas l'entrée des remorques sur son site plus de 24 heures à l'avance. Il s'agit donc de notre borne inférieure. À l'inverse, il est possible qu'une remorque soit très en retard. Si celle-ci est en retard de plus de 24 heures, le fournisseur doit informer l'entreprise et prendre un nouveau rendez-vous. Même si cette pratique est plus ou moins respectée, nous avons posé l'hypothèse que les remorques arrivant plus de 24 heures d'avance ou ayant un retard de plus de 24 heures devraient être exclues pour éviter les potentiels doublons, représentant 552 bons de commande, soit moins de 1% des données. Ils ont été supprimés de la base de données destinée au traitement statistique. Par contre, pour conserver le nombre de bons de commande aussi près de la réalité possible et prendre en considération les ententes particulières entre les fournisseurs et le centre de distribution, nous avons inclus, dans la simulation, les bons de commande qui sont arrivés plus de 24 heures d'avance, mais moins de 48 heures. Nous les avons considérés comme des bons de commande sans chauffeur en attente.

À la suite des trois phases de nettoyage, 34 900 bons de commande font partie de la base de données finale qui sert aux analyses statistiques, soit légèrement moins que la moitié des données brutes. En effet, il était nécessaire de garder seulement les bons de commande représentatifs du système à étudier en excluant plusieurs cas spécifiques qui sont connus, mais ne sont pas en lien avec les trois comportements à analyser. Cependant, tel que spécifié tout au long des phases de nettoyage, les données d'entrée du simulateur prennent en compte une plus grande portion du volume initial de bons de commande que lors du traitement statistique pour bien refléter la réalité du processus de réception de remorques, soit 65 514 bons de commande. La base de données avec les informations générées à partir des distributions statistiques est présentée dans le développement du modèle de simulation au chapitre 6.

## **5.3 Traitement statistique**

Pour mieux comprendre le comportement des fournisseurs et du centre de distribution, nous avons voulu connaître la distribution statistique des variables dépendantes. Cette analyse nous permet aussi de déterminer leur moyenne et leur écart-type en fonction de variables indépendantes. Ces variables dépendantes analysées sont l'écart d'arrivée des fournisseurs, l'écart de début de déchargement et l'écart du temps de déchargement. Les variables indépendantes sont les attributs, soit les variables propres à chaque bon de commande. L'expérience de l'auteure chez Metro nous permet de mieux comprendre l'effet de certains attributs sur les comportements des fournisseurs et du centre de distribution. Ainsi, en considérant cette discussion et les données disponibles, les attributs observés dans l'analyse sont le type de fournisseur, le quart de travail, le type de dépilage, le nombre de lignes, le nombre de palettes, le jour de la semaine et le mois de l'année du bon de commande.

### **5.3.1 Écart d'arrivée du fournisseur**

Le comportement du fournisseur est évalué à partir de l'écart du temps d'arrivée. Il s'agit de la différence entre le rendez-vous à l'horaire et l'arrivée du fournisseur au centre de distribution. Le but est d'illustrer le comportement de l'acteur externe, à savoir s'il respecte ou non l'horaire de rendez-vous. Le respect de l'heure de rendez-vous est important afin d'étaler la charge de travail selon la capacité du centre de distribution. En ne respectant pas l'heure de rendez-vous assigné, le plus grand risque que le fournisseur court est d'attendre plus longtemps pour se faire décharger ou de ne pas se faire décharger et de devoir reprendre rendez-vous. Pour le centre de distribution, le retard d'un fournisseur peut créer un temps d'attente des employés ou avoir un effet boule de neige et engendrer du retard sur le reste de l'horaire. Dans les deux cas, le retard d'un fournisseur n'est pas souhaitable.

Suite à l'analyse des 34 900 bons de commande, l'écart du temps d'arrivée suit une loi normale autour d'une moyenne de -1,40 heure et un écart-type de 3,55 ce qui signifie que les remorques arrivent sur le site en moyenne près de 1h30 avant leur rendez-vous. À première vue, cela donne une certaine flexibilité au centre de distribution. La valeur la

plus faible est un écart de 24 heures à l'avance, soit la borne inférieure que nous avons imposée au processus. La valeur la plus élevée est un écart de 23,98 heures en retard, tout près de la borne supérieure considérée. Bien que l'écart d'arrivée moyen soit négatif, ce sont les remorques qui arrivent en retard qui bouleversent l'horaire. Dans le cas présent, c'est 23% des bons de commande pour lesquels le fournisseur arrive après l'heure à l'horaire avec une moyenne de 1,86 heure de retard et un écart-type de 3,16 heures. De ces retards, 46% arrivent avec plus d'une heure de retard. Pour mieux comprendre le comportement du fournisseur, nous avons créé trois nouvelles variables dépendantes continues: *Respect du rendez-vous*, *Un peu de retard* et *Beaucoup de retard*. La catégorie *Respect du rendez-vous* regroupe tous les bons de commande pour lesquels les écarts d'arrivée sont négatifs. Une remorque qui arrive à l'heure exacte de son rendez-vous est aussi catégorisée dans *Respect du rendez-vous*. Cette catégorie regroupe donc tous les bons de commande qui ont un écart d'arrivée de 0 et moins. À l'inverse, une remorque qui est en retard, peut être catégorisée de deux façons : *Un peu de retard*, si celle-ci arrive dans l'heure qui suit son rendez-vous ou *Beaucoup de retard*, si la remorque arrive plus d'une heure en retard. Cette borne d'une heure a été instaurée selon l'expérience de l'auteure ainsi que la moyenne du temps de déchargement. L'impact d'un retard d'une heure et moins d'une remorque permet de devancer le déchargement d'une ou deux remorques, ce qui a un impact relativement faible sur les opérations, si certaines remorques sont en attente sur le site. Un retard d'une heure et plus affecte normalement plusieurs rendez-vous et peut même avoir un impact sur plusieurs quarts de travail. Le comportement du centre de distribution peut être influencé en raison de cette différence de retard du fournisseur. Nous avons donc fait une distinction non seulement entre les bons de commande à l'heure et en retard, mais aussi entre les petits et les grands retards. Les bons de commande sont donc divisés selon ces trois variables dépendantes, chacune représentant un comportement différent du fournisseur.

Une analyse approfondie de ces trois variables dépendantes en fonction des attributs d'un bon de commande a été réalisée. Bien qu'au départ, l'écart de déchargement suivait une loi normale, les trois nouvelles variables créées découpent la distribution et ne représentent désormais plus une loi normale. Ainsi, le test non paramétrique *Kruskal-*

*Wallis* a été réalisé pour déterminer s’il y a une différence significative de chacun des sept attributs sur les trois variables dépendantes. S’il y a présence d’une différence significative parmi les comparaisons de paires de variances, le test post hoc Dunn détermine les groupes significativement différents. Ce test post hoc est semblable au test de la somme des rangs de *Mann-Whitney-Wilcoxon*. Par contre, il a la particularité d’utiliser une mesure de la variance groupée impliquée par le test de *Kruskal-Wallis* et il utilise les mêmes classements que les données originales comme l’utilise le test de *Kruskal-Wallis* (Dinno, 2004). Finalement, puisque la silhouette des distributions de chaque groupe d’une même variable dépendante est semblable, des conclusions peuvent être tirées en fonction des médianes ou des moyennes. La figure 11 montre un exemple de l’allure des distributions de l’écart d’arrivée du fournisseur lorsqu’il respecte le rendez-vous en fonction du type de fournisseur.

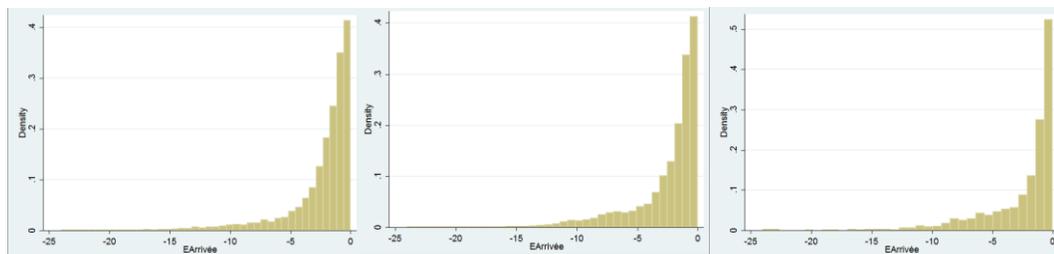


Figure 11 - Histogrammes de l’écart d’arrivée si Respect du rendez-vous en fonction du type de fournisseurs (de gauche à droite : A, B et C)

Les prochaines sections présentent pour chaque variable indépendante, les résultats des tests *Kruskal-Wallis* et *Dunn*. Les résultats détaillés sont présentés à l’annexe A.

### 5.3.1.1 Type de fournisseur

Suite aux analyses statistiques, nous pouvons affirmer que le type de fournisseur a une influence sur deux des trois variables dépendantes qui représentent le comportement du fournisseur. Tel qu’illustré au tableau 3, pour la variable *Respect du rendez-vous*, les fournisseurs A présentent une moyenne plus grande que les fournisseurs C, qui à leur tour ont une moyenne plus élevée que les fournisseurs B. Une moyenne plus élevée de cette variable signifie que l’écart d’arrivée est plus près de zéro, soit que l’arrivée est plus près du rendez-vous. Pour la variable *Un peu de retard*, le type de fournisseur ne présente pas

de différence significative. Enfin, pour la variable *Beaucoup de retard*, les fournisseurs A présentent une moyenne plus faible que les fournisseurs B et C. Pour expliquer ces différences, on peut poser l'hypothèse que les fournisseurs A sont des fournisseurs locaux et qu'ils viennent au CD plusieurs fois par semaine. Étant donné la distance les séparant du centre de distribution, ils sont moins susceptibles d'être très en retard. À l'inverse, les fournisseurs C sont généralement des fournisseurs occasionnels qui viennent probablement de plus loin et qui connaissent moins les imprévus qui peuvent survenir. Cet attribut sera utilisé dans un scénario de la simulation.

Tableau 3 : Écart d'arrivée des bons de commande selon le type de fournisseur et divisée selon les trois variables dépendantes

Variables	Fournisseur	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	A	-2,34*	2,96	16 410
	B	-2,49*	3,02	7 586
	C	-2,40*	3,15	2 750
Beaucoup de retard	A	3,39*	3,83	2 138
	B	3,68	3,94	1 165
	C	4,06	4,64	470

### 5.3.1.2 Quart de travail

Pour réaliser l'analyse statistique sur l'écart d'arrivée, nous avons utilisé le quart de travail où le rendez-vous est à l'horaire plutôt que le quart de travail où le bon de commande est déchargé. Il est pertinent de vérifier l'influence de cet attribut sur les variables dépendantes, car le quart de travail suggère un moment de la journée. Tel que présenté au tableau 4, la variable *Respect du rendez-vous* présente une différence significative de l'écart d'arrivée sur le quart de jour seulement. En effet, les fournisseurs qui respectent leur rendez-vous arrivent plus à l'avance sur ce quart de travail. Dans le contexte de la simulation, cette différence significative de la variable *Respect du rendez-vous* n'influence pas la performance de la réception, car le temps d'attente du fournisseur ne prend pas en considération le temps avant le rendez-vous. La variable *Un peu de retard* ne présente pas de différence significative du comportement des fournisseurs en fonction du quart de travail, alors que la variable *Beaucoup de retard* présente un comportement

significativement différent sur le quart de nuit. Lors de grands retards, ce sont les bons de commande qui ont un rendez-vous sur le quart de nuit qui ont l'écart moyen le plus élevé.

Tableau 4 : Écart d'arrivée des bons de commande selon le quart de travail planifié

Variabes	Quart de travail planifié	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Jour	-2,45*	3,07	21 635
	Soir	-2,14	2,66	4 128
	Nuit	-2,20	2,73	983
Beaucoup de retard	Jour	3,60	4,09	2 916
	Soir	3,35	3,67	702
	Nuit	3,73*	3,06	155

### 5.3.1.3 Type de dépilage

La variable *Respect du rendez-vous* présente une différence significative pour le type de dépilage 2– *Un peu de dépilage*, alors que la variable *Beaucoup de retard* présente une différence pour les trois types de dépilage. En effet, pour les bons de commande où l'heure du rendez-vous est respectée, les bons ayant un type de dépilage 2 arrivent en moyenne plus en avance que les bons de commande avec les deux autres types de dépilage. Par contre, tel que présenté au tableau 5, selon la variable *Beaucoup de retard*, les fournisseurs avec un bon de commande de ce même type de dépilage sont beaucoup plus en retard que les fournisseurs ayant un bon de commande avec un type 1, qui à leur tour ont un écart moyen d'arrivée plus élevé que les fournisseurs ayant un bon de commande de type de dépilage 3. La variable *Un peu de retard* ne présente aucune différence significative. Malgré ces différences significatives, il est difficile de trouver une explication logique de l'influence du type de dépilage sur l'écart d'arrivée du fournisseur. Nous ne considérerons donc pas ce facteur dans les scénarios de variation des temps d'arrivée dans la simulation.

Tableau 5 : Écart d'arrivée des bons de commande selon le type de dépilage

Sous-catégories	Type dépilage	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	1	-1,84	2,44	14 022
	2	-3,09*	3,43	11 351
	3	-2,22	3,19	1 373
Beaucoup de retard	1	3,33*	3,54	1 744
	2	3,84*	4,37	1 815
	3	3,04*	3,72	214

#### 5.3.1.4 Nombre de lignes

Le nombre de lignes semble avoir une influence significative sur le comportement des fournisseurs. Tel que présenté au tableau 6, les analyses pour la variable *Respect du rendez-vous* démontrent que les fournisseurs ayant un bon de commande contenant de 6 à 15 lignes de produits arrivent moins à l'avance que les autres fournisseurs. La variable *Un peu de retard* ne démontre aucune différence significative. Finalement, pour la variable *Beaucoup de retard*, ce sont les fournisseurs ayant un bon de commande de 5 lignes et moins qui se distinguent des autres fournisseurs en arrivant en moyenne 3,65 heures après leur rendez-vous. Toutefois, la variable *Beaucoup de retard* des bons de commande ayant 21 lignes de produits et plus a un écart moyen de 4,03 heures, soit supérieur au groupe significativement différent. La faible fréquence de ce groupe n'a pas permis de le considérer comme significativement différent. Étant donné qu'il est difficile de justifier cette différence de l'écart d'arrivée des fournisseurs en fonction du nombre de lignes du bon de commande, nous ne considérerons pas cet attribut dans la simulation.

Tableau 6 : Écart d'arrivée des bons de commande selon le nombre de lignes

Sous-catégories	Nombre lignes	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	[1,5]	-2,52	3,16	20 660
	[6, 10]	-1,77*	2,14	3 238
	[11, 15]	-1,93*	2,21	1 437
	[16, 20]	-2,29	2,57	979
	[21, ∞[	-2,50	3,06	432
Beaucoup de retard	[1,5]	3,65*	4,06	3 158
	[6, 10]	3,29	3,62	418
	[11, 15]	2,48*	1,80	97
	[16, 20]	2,71*	3,73	69
	[21, ∞[	4,03	5,28	31

### 5.3.1.5 Nombre de palettes

Le test *Kruskal-Wallis* a révélé une différence significative selon le nombre de palettes dans le bon de commande pour expliquer l'écart d'arrivée des fournisseurs. Tel que présenté au tableau 7, pour la variable *Respect du rendez-vous*, plus le nombre de palettes est élevé, plus la remorque est en avance. D'une part, nous pouvons poser comme hypothèse que les remorques qui ont des bons de commande avec peu de palettes proviennent d'un fournisseur de la région, car le coût de transport est amorti sur une faible quantité. Nous avons conclu à la section 5.2.1.1 que ces fournisseurs sont souvent à l'avance. D'autre part, il est possible que le bon de commande soit une des livraisons partielles de la route du fournisseur. Cette deuxième hypothèse amène un degré de variabilité supplémentaire à considérer par le fournisseur, car dépendamment de la position de l'arrêt dans la route du chauffeur, de nombreux imprévus peuvent survenir. Par contre, l'écart-type des bons de commandes de la variable *Respect du rendez-vous* augmente avec le nombre de palettes, ce qui va à l'inverse de cette deuxième hypothèse. L'analyse de la variable *Un peu de retard* ne présente aucune différence significative alors que celle de la variable *Beaucoup de retard* démontre que plus le nombre de palettes du bon de commande est élevé, plus les fournisseurs arrivent en retard. Nous conservons l'influence du nombre de palettes sur le comportement du fournisseur pour la simulation.

Tableau 7 : Écart d'arrivée des bons de commande selon le nombre de palettes

Sous-catégories	Nombre palettes	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	[1,15]	-2,20*	2,88	13 289
	[16, 30]	-2,37*	2,93	8 816
	[31, 45]	-2,93*	3,34	3 658
	[46, ∞ [	-3,11*	3,55	983
Beaucoup de retard	[1,15]	3,24*	3,56	2 133
	[16, 30]	3,78*	4,08	1 061
	[31, 45]	4,05*	4,71	437
	[46, ∞ [	5,15*	5,72	142

### 5.3.1.6 Jour de la semaine

En analysant les variables dépendantes en fonction du jour de la semaine, chacune a présenté des groupes significativement différents. Tel que présenté au tableau 8, la variable *Respect du rendez-vous* démontre que les fournisseurs dont le bon de commande est planifié le samedi arrivent moins à l'avance que le reste de la semaine. Suivant cette même logique, le test *Dunn* a révélé pour la variable *Un peu de retard* que les fournisseurs dont le bon de commande est planifié le dimanche ont un écart d'arrivée plus petit que le reste de la semaine, alors que les fournisseurs dont le bon de commande est planifié le samedi, ont un écart d'arrivée plus grand. Par contre, la variable *Beaucoup de retard* présente des différences significatives allant à l'inverse des deux premières variables. En effet, les fournisseurs qui ont un rendez-vous le dimanche arrivent en moyenne 5,44 heures en retard, ce qui est une différence de plus de deux heures comparativement à l'écart moyen des autres jours de la semaine de la variable *Beaucoup de retard*. La difficulté de trouver de la main-d'œuvre les dimanches peut être une hypothèse plausible, car certains fournisseurs et transporteurs sont fermés la fin de semaine. Nous prendrons cet attribut en considération dans la simulation.

Tableau 8 : Écart d'arrivée des bons de commande selon le jour de la semaine

Sous-catégories	Jour de la semaine	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Dimanche	-2,35	3,46	2 427
	Lundi	-2,38	2,92	3 862
	Mardi	-2,35	3,05	4 608
	Mercredi	-2,49	2,99	4 630
	Jeudi	-2,51	3,06	4 490
	Vendredi	-2,33	2,82	4 001
	Samedi	-2,22*	2,74	2 728
Un peu de retard	Dimanche	0,36*	0,27	341
	Lundi	0,39	0,28	698
	Mardi	0,38	0,28	777
	Mercredi	0,39	0,28	709
	Jeudi	0,40	0,28	716
	Vendredi	0,40	0,28	681
	Samedi	0,43*	0,29	459
Beaucoup de retard	Dimanche	5,44*	6,88	307
	Lundi	3,44	3,58	534
	Mardi	3,39	3,54	673
	Mercredi	3,28	3,14	628
	Jeudi	3,39	3,36	627
	Vendredi	3,03	2,62	577
	Samedi	4,01	5,14	427

### 5.3.1.7 Mois de l'année

Tel que présenté au tableau 9, l'analyse de la variable *Respect du rendez-vous* par rapport au mois de l'année, démontre une différence significative pour les mois d'août, septembre et octobre en opposition aux mois de mars, avril et mai.

Tableau 9 : Écart d'arrivée des bons de commande selon le mois

Sous-catégories	Mois de l'année	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Janvier	-2,36	2,97	1 801
	Février	-2,48	3,13	1 883
	Mars	-2,60* <sup>8,9,10</sup>	3,10	2 188
	Avril	-2,63* <sup>8,9,10</sup>	3,17	2 183
	Mai	-2,58* <sup>8,9,10</sup>	3,21	2 175
	Juin	-2,44	3,05	2 294
	Juillet	-2,31	3,01	2 148
	Août	-2,17* <sup>3,4,5</sup>	2,68	2 886
	Septembre	-2,06* <sup>3,4,5</sup>	2,66	2 758
	Octobre	-2,22* <sup>3,4,5</sup>	2,92	2 334
	Novembre	-2,49	3,16	2 238
	Décembre	-2,43	3,04	1 858
Beaucoup de retard	Janvier	3,25	3,47	254
	Février	3,18	3,72	238
	Mars	3,76	4,68	294
	Avril	4,14*	4,38	364
	Mai	3,66	3,98	375
	Juin	3,80	4,00	353
	Juillet	3,41	3,87	280
	Août	3,44	3,99	406
	Septembre	2,84*	2,84	353
	Octobre	3,68	4,45	281
	Novembre	3,53	3,89	274
	Décembre	3,87	4,02	301

Les fournisseurs semblent arriver moins à l'avance durant les mois de la fin de l'été et de l'automne par rapport aux mois du printemps. L'augmentation du nombre de petits fournisseurs québécois durant le temps des récoltes en opposition au nombre important de fournisseurs internationaux au printemps peut être une explication à cette différence. Nous étudions les données d'un centre de distribution de fruits et légumes, donc il est justifiable d'avoir un effet de saisonnalité. La figure 12, illustre un cycle selon le mois de l'année.

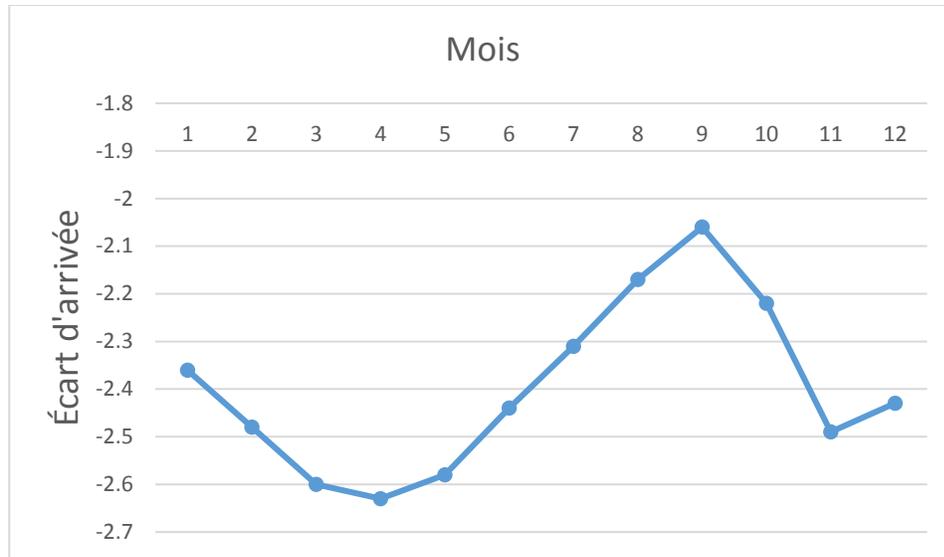


Figure 12 - Écart d'arrivée moyen des fournisseurs si Respect du rendez-vous en fonction du mois de l'année

Par contre, on ne retrouve aucune différence significative pour la variable *Un peu de retard*. Finalement, le test *Dunn* a fait ressortir deux groupes significativement différents des autres pour la variable dépendante de l'écart d'arrivée du fournisseur si *Beaucoup de retard* en fonction du mois de l'année. En effet, le mois d'avril est celui où les fournisseurs arrivant plus d'une heure en retard démontrent le plus grand écart moyen. À l'inverse, le mois de septembre est celui où les fournisseurs de cette même variable présentent le plus petit écart moyen d'arrivée. Ainsi, en posant l'hypothèse qu'une plus grande proportion de fournisseurs locaux livre au centre de distribution à l'automne, en raison du temps de la récolte au Québec, étant donné la distance les séparant du centre de distribution, ils sont moins susceptibles d'être très en retard. À l'inverse, les fournisseurs du printemps sont généralement en plus grande proportion des fournisseurs internationaux, afin de répondre à la demande grandissante de fruits et légumes à l'approche du printemps, il est plus difficile de se prévenir des imprévus de la route. Cet attribut sera considéré dans la simulation.

### 5.3.2 Écart de début du déchargement

La fonction primaire d'un centre de distribution est la préparation de commandes et l'expédition de celles-ci vers les magasins affiliés. Pour assurer le succès de ces activités, la réception des marchandises est cruciale, car c'est la première opération par laquelle passe les produits dans le centre de distribution. Il est primordial que les fournisseurs soient présents au moment de leur rendez-vous. Par contre, les employés du centre de distribution ont également un rôle majeur à jouer dans le succès du déroulement de cette opération. La décision de priorisation d'une remorque à décharger a un impact sur le temps de début de déchargement des remorques.

L'écart de début de déchargement illustre la capacité du centre de distribution à respecter l'horaire planifié. En analysant les 34 900 bons de commande, l'écart moyen du temps de début du déchargement de toutes les variables dépendantes en commun suit une loi normale d'une moyenne de 0,74 heure, soit environ 45 minutes de retard, et d'un écart-type de 2,75 heures. L'écart minimal est de -23,55 heures et l'écart maximal de 23,83 heures. On suppose que le comportement préalable du fournisseur a un impact majeur sur l'écart du début de déchargement, car en isolant les bons de commande où le fournisseur est arrivé en retard, l'écart moyen du début de déchargement s'élève à 1,99 heures, alors que l'écart des bons de commande où les fournisseurs ont respecté leur rendez-vous est d'environ 0,34 heure d'attente, soit 20 minutes. Cela confirme que le comportement du centre de distribution est grandement affecté par la ponctualité du fournisseur. Ainsi, l'écart de début de déchargement a été décortiqué en neuf variables dépendantes continues, présentées à la figure 13, afin d'identifier les facteurs ayant une différence significative sur un comportement précis.

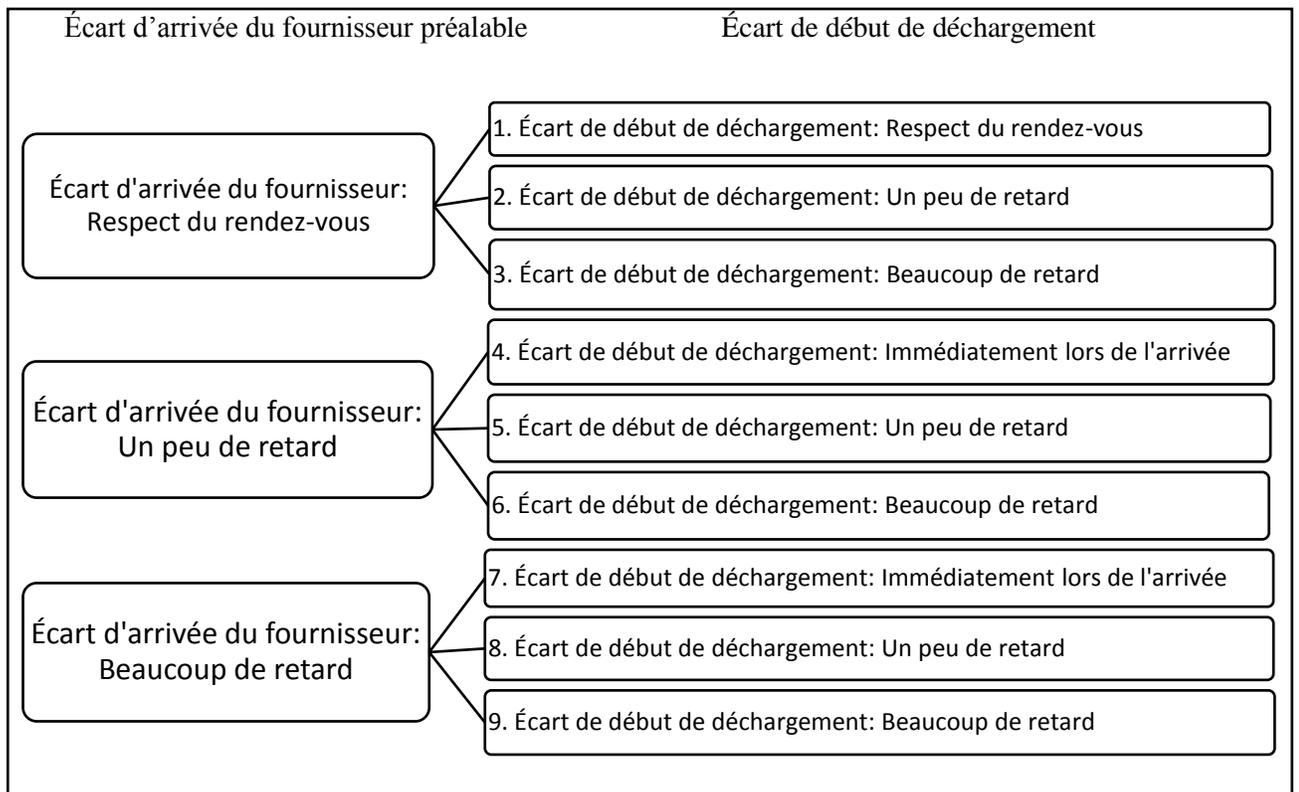


Figure 13 - Neuf variables dépendantes en lien avec l'écart de début de déchargement

L'écart du début de déchargement est le temps d'attente du fournisseur avant de se faire décharger. Selon le comportement d'arrivée du fournisseur, le calcul de l'écart de début de déchargement est différent. Si le fournisseur arrive à l'avance, soit la catégorie *Respect du rendez-vous*, l'écart de début du déchargement (1 à 3) est l'écart entre l'heure de rendez-vous prévue et l'heure du début du déchargement, soit l'ouverture du bon de commande. À l'inverse, si le fournisseur est arrivé après son rendez-vous, donc se retrouve dans les catégories *Un peu de retard* ou *Beaucoup de retard*, l'écart de début de déchargement (4 à 9) est l'écart entre l'heure d'arrivée du fournisseur et l'heure de l'ouverture du bon de commande. Ainsi, les prochaines sections présentent le résultat des tests *Kruskal-Wallis* vérifiant si chacun des sept attributs a un impact significatif sur les neuf variables dépendantes présentées à la figure 13 en plus du résultat des tests *Dunn* pour identifier les groupes significativement différents. Tout comme dans l'analyse du premier écart, l'allure similaire de la distribution des groupes d'une même variable dépendante nous permet de conclure par rapport à la médiane et à la moyenne.

### 5.3.2.1 Type de fournisseur

Le test *Dunn* fait ressortir, au tableau 10, une différence significative de l'écart de début de déchargement des trois types de fournisseurs pour la première variable. Les fournisseurs C sont ceux qui sont appelés à être déchargés le plus rapidement, suivis des fournisseurs B, puis des fournisseurs A. Cette différence n'est représentative que lorsque le fournisseur et le centre de distribution respectent le rendez-vous. En se référant à l'analyse de l'écart d'arrivée des fournisseurs lors du *Respect du rendez-vous*, les fournisseurs A ont un écart d'arrivée moins grand. On peut poser l'hypothèse que moins les fournisseurs arrivent d'avance, moins le centre de distribution peut devancer leur rendez-vous. Par contre, suivant cette logique, les fournisseurs B devraient être priorisés sur les fournisseurs C. Nous n'allons pas prendre cette différence en compte dans la simulation, car si le centre de distribution débute le déchargement avant même le rendez-vous, c'est probablement qu'il y a peu de bons de commande avec chauffeur en attente. Les tests statistiques ont aussi démontré une différence pour la deuxième variable dépendante, soit lorsque le fournisseur est à l'heure, mais que le centre de distribution débute le déchargement dans l'heure qui suit le rendez-vous. Ce sont les fournisseurs C qui attendent le plus longtemps. À l'inverse, lorsque les deux acteurs ont *Un peu de retard*, les fournisseurs A attendent plus longtemps. Par contre, la différence des moyennes de ces deux dernières variables n'est pas grande. De plus, il n'y a aucune différence significative pour les trois variables dont l'écart d'arrivée du fournisseur est de plus d'une heure. On peut conclure que le type de fournisseur a un impact principalement lorsque les deux acteurs respectent le rendez-vous. Étant donné que ces comportements affectent positivement les mesures de performance de la réception, nous n'appliquerons pas de changement à cet attribut. Il ne sera donc pas pris en compte dans la création de nouveaux scénarios lors de la simulation.

Tableau 10 : Écart de début de déchargement des bons de commande selon le type de fournisseur

Comportement fournisseur (arrivée)	Comportement entrepôt (début)	Type de fournisseur	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Respect du rendez-vous	A	-1,53*	2,16	6020
		B	-1,72*	2,28	2874
		C	-1,97*	2,81	938
	Un peu de retard	A	0,46	0,28	5482
		B	0,45	0,28	2710
		C	0,48*	0,28	930
Un peu de retard	Un peu de retard	A	0,63*	0,22	811
		B	0,60	0,22	459
		C	0,59	0,21	162

### 5.3.2.2 Quart de travail

Il y a une différence statistique de l'écart de début de déchargement selon le quart de travail où le déchargement est débuté pour les variables 1, 3, 5, 6, 8, et 9. Nous nous intéressons aux troisièmes et neuvièmes variables, car il y a une différence significative marquée entre les trois quarts de travail et influence négativement la performance du processus de réception de remorques. Tel que présenté au tableau 11, selon le test *Dunn*, pour la troisième variable, soit lorsque le fournisseur respecte le rendez-vous, mais que le centre de distribution débute le déchargement plus d'une heure en retard, l'écart de début est davantage élevé sur le quart de nuit, suivi du quart de soir et finalement de jour. Le nombre de ressources disponibles sur les trois quarts de travail peut expliquer cette différence. On peut poser l'hypothèse qu'un nombre plus élevé d'équipes de réception à la fois sur un même quart de travail réduit la moyenne des très longs temps d'attente des fournisseurs dans le cas où il est arrivé à l'heure. Le second cas étudié selon le quart de travail est la neuvième variable dépendante soit : *Beaucoup de retard* du fournisseur et du centre de distribution. Encore une fois, c'est sur le quart de travail de nuit, que l'attente moyenne est la plus élevée des trois quarts de travail. Par contre, le quart de jour suit cette dernière et ensuite le quart de soir. De façon générale, lorsque le centre de distribution est dans l'incapacité de décharger une remorque dans l'heure suivant le rendez-vous, c'est

sur le quart de nuit que l'effet est le plus ressenti. Nous allons donc considérer cet attribut pour la création de scénarios.

Tableau 11 : Écart de début de déchargement des bons de commande selon le quart de travail

Comportement fournisseur (arrivée)	Comportement entrepôt (début)	Quart de travail	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Beaucoup de retard	Jour	2,54*	2,75	5 460
		Soir	2,95*	1,94	1 911
		Nuit	4,31*	4,00	421
Beaucoup de retard	Beaucoup de retard	Jour	3,18*	4,21	1 117
		Soir	2,60*	1,57	1 208
		Nuit	3,73*	3,01	241

### 5.3.2.3 Type de dépilage

L'analyse des variables en fonction du type de dépilage relève seulement des différences significatives pour les variables 1 et 3. Dans les deux cas, les fournisseurs ont respecté le rendez-vous. Selon l'expérience de l'auteur, il peut arriver de privilégier des bons de commande de type de dépilage 1, soit aucun dépilage, pour plusieurs raisons. Premièrement, la priorisation de ces bons de commande permet à plus de chauffeurs en attente de se faire décharger, car le temps de déchargement d'un bon de commande sans dépilage est souvent moins élevé. Deuxièmement, le nombre de palettes déchargées dans un quart de travail est l'une des mesures de performance des contremaîtres. Ainsi, en priorisant des bons de commande sans dépilage, le nombre de palettes déchargées est souvent plus grand. Finalement, les bons de commande sans dépilage peuvent être priorisés avant une pause ou un changement de quart pour maximiser les chances de terminer le déchargement avant le départ des employés.

Présentés au tableau 12, les résultats de l'analyse de la première variable, soit lorsque les deux acteurs respectent l'heure de rendez-vous montrent que les bons de commande ayant un type de dépilage 2- *Un peu de dépilage* sont débutés plus rapidement que le type de dépilage 3- *Beaucoup de dépilage*, qui à leur tour se font décharger plus rapidement que

le type de dépilage 1- *Aucun dépilage*. Cela va donc à l'encontre de l'hypothèse de priorisation des bons de commande sans dépilage.

Pour la seconde variable présentant une différence significative, on s'intéresse à la variable dépendante 3, soit lorsque le fournisseur respecte le rendez-vous, mais que le centre de distribution débute dans l'heure suivant le rendez-vous. Le type de dépilage 2- *Un peu de dépilage* est débuté en moyenne légèrement après les deux autres types de dépilage. Bref, le type de dépilage semble avoir un impact sur l'écart de début de déchargement, lorsqu'on s'intéresse aux bons de commande arrivés à l'heure. Cet attribut sera donc considéré dans les scénarios.

Tableau 12 : Écart de début de déchargement des bons de commande selon le type de dépilage

Comportement fournisseur (arrivée)	Comportement entrepôt (début)	Type de dépilage	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Respect du rendez-vous	1	-1,07*	2,08	6 525
		2	-1,44*	2,16	5 546
		3	-1,40*	2,48	484
	Beaucoup de retard	1	2,67	2,69	3 833
		2	2,80*	2,77	3 428
		3	2,52	2,21	531

#### 5.3.2.4 Nombre de lignes

Suite à la réalisation des tests *Kruskal-Wallis* et *Dunn*, présentés au tableau 13, nous pouvons affirmer que le nombre de lignes d'un bon de commande a un impact que sur la première variable, soit lorsque les deux acteurs respectent l'horaire. Les bons de commande contenant très peu de lignes sont favorisés au détriment de ceux avec 21 lignes de produits et plus. L'hypothèse présentée à la section 5.3.2.3 portant sur la priorisation des bons de commande rapide à décharger se prête très bien à ce contexte. Étant donné qu'il n'y a aucune différence significative pour les huit autres variables dépendantes, nous ne tenons pas compte de cet attribut dans la création des scénarios de la simulation.

Tableau 13 : Écart de début de déchargement des bons de commande selon le nombre de lignes

Comportement du fournisseur (arrivée)	Comportement de l'entrepôt (début)	Nombre lignes	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Respect du rendez-vous	[1,5]	-1,31*	2,20	9 953
		[6, 10]	-1,09	1,98	1 437
		[11, 15]	-0,91	1,77	587
		[16, 20]	-0,95	1,48	402
		[21, ∞[	-0,69*	2,07	176

### 5.3.2.5 Nombre de palettes

Suite à l'analyse approfondie des neuf écarts de début de déchargement, nous concluons qu'un bon de commande ayant 15 palettes et moins est favorisé lorsque le centre de distribution n'est pas en mesure de décharger le bon de commande dans l'heure suivant le rendez-vous. En effet, les variables 3, 6 et 9 présentées au tableau 14 montrent une différence significative de l'écart de début des bons de commande avec peu de palettes. Dans les trois cas, l'écart moyen est plus faible que pour les bons de commande avec plus de palettes. On suppose qu'en contexte de retard, le centre de distribution a tendance à prioriser les bons de commande avec un nombre de palettes faible. Nous utiliserons cet attribut dans la simulation.

Tableau 14 : Écart de début de déchargement des bons de commande selon le nombre de palettes

Comportement du fournisseur (arrivée)	Comportement de l'entrepôt (début)	Nombre palettes	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Beaucoup de retard	[1,15]	2,36*	2,07	2 953
		[16, 30]	2,960	2,95	3 019
		[31, 45]	3,06	3,22	1 485
		[46, ∞[	2,62	2,19	335
Un peu de retard	Beaucoup de retard	[1,15]	2,22*	1,95	1 376
		[16, 30]	2,69	2,71	913
		[31, 45]	3,16	3,31	384
		[46, ∞[	2,72	3,04	97
Beaucoup de retard	Beaucoup de retard	[1,15]	2,55*	2,70	1 321
		[16, 30]	3,26	3,10	793
		[31, 45]	3,69	4,17	345
		[46, ∞[	3,30	3,81	107

### **5.3.2.6 Jour de la semaine**

Le test Kurskal-Wallis fait ressortir des différences significatives dans trois variables : 1, 3 et 9, présentées au tableau 15. Pour la première variable, lorsque les deux acteurs respectent l'heure du rendez-vous, les bons de commande déchargés la semaine ont un écart de début de déchargement plus élevé. Cela signifie que le centre de distribution devance moins leur rendez-vous. La seconde variable présente une différence significative lorsque le fournisseur respecte le rendez-vous, mais que le centre de distribution prend plus d'une heure avant de débiter le déchargement. Le test met seulement de l'avant la différence de l'écart moyen du lundi qui est inférieur au reste de la semaine. Finalement, la variable présentant le plus de différences significatives est la neuvième, soit lorsque les deux acteurs ne respectent pas leurs rendez-vous. Les bons de commande déchargés le dimanche sont définitivement ceux qui attendent le plus longtemps. Nous utiliserons donc cet attribut pour créer de nouveaux scénarios dans la simulation.

Tableau 15 : Écart de début de déchargement des bons de commande selon le jour de la semaine

Comportement du fournisseur (arrivée)	Comportement de l'entrepôt (début)	Jour de la semaine	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Respect du rendez-vous	Dimanche	-1,18*	2,72	834
		Lundi	-1,43	2,41	1 940
		Mardi	-1,23	2,10	2 107
		Mercredi	-1,26	1,94	2 229
		Jeudi	-1,23	1,93	2 248
		Vendredi	-1,20	1,80	2 018
		Samedi	-1,11*	2,55	1 179
Respect du rendez-vous	Beaucoup de retard	Dimanche	2,73	3,17	853
		Lundi	2,39*	2,11	998
		Mardi	2,65	2,53	1 408
		Mercredi	2,80	2,68	1 370
		Jeudi	2,91	3,15	1 237
		Vendredi	2,71	2,72	1 017
		Samedi	2,73	2,27	909
Beaucoup de retard	Beaucoup de retard	Dimanche	4,24*	5,08	219
		Lundi	2,35	2,05	357
		Mardi	2,81	2,81	459
		Mercredi	3,07	3,10	451
		Jeudi	3,12	3,28	422
		Vendredi	2,57	2,53	395
		Samedi	3,09	3,15	263

### 5.3.2.7 Mois de l'année

Encore une fois, les variables dépendantes 1, 3 et 9 présentent des différences significatives en fonction de l'attribut et sont présentées au tableau 16. Pour la première variable, lorsque les deux acteurs respectent le rendez-vous, deux regroupements de mois se distinguent. Les mois de mars à juin ont un écart moyen plus faible comparativement aux mois de septembre à novembre qui ont un écart moyen plus élevé. Si on se réfère à l'écart d'arrivée du fournisseur en fonction du mois étudié à la section 5.3.1.7 de ce chapitre, lorsqu'ils respectent le rendez-vous, les fournisseurs arrivent plus à l'avance durant les mois du printemps comparativement aux mois de l'automne. Ainsi, plus les fournisseurs arrivent à l'avance, plus ils ont de chance de se faire décharger avant l'heure de leur rendez-vous. La troisième variable illustre le comportement du centre de

distribution qui prend plus d'une heure avant de décharger un bon de commande qui était pourtant à l'heure. Selon le test *Dunn*, les mois de janvier, septembre et décembre se différencient des autres mois. Les mois de janvier et septembre ont un écart moyen plus bas que le reste de l'année, alors que le mois de décembre présente un écart moyen plus élevé. Ce résultat pourrait s'expliquer par le temps des fêtes, une période où les ventes sont à la hausse et marquée par des jours fériés, ce qui peut affecter la capacité du centre de distribution à respecter les rendez-vous. Finalement, la neuvième variable présente une différence significative, soit quand les fournisseurs arrivent plus d'une heure en retard et que le centre de distribution prend plus d'une heure suite à l'arrivée pour débiter le déchargement. Les mois de mars, avril et décembre ont des écarts plus élevés, alors que les mois de juillet à septembre présentent des écarts plus faibles que le reste de l'année. Pour conclure, il semble y avoir une tendance où durant les mois du printemps, les écarts sont très éloignés du zéro, autant positifs que négatifs, alors qu'à l'automne, les écarts se rapprochent de zéro. Cet attribut sera donc considéré dans la simulation lors de la création des scénarios.

Tableau 16: Écart de début de déchargement des bons de commande selon le mois de l'année

Comportement du fournisseur (arrivée)	Comportement de l'entrepôt (début)	Mois de l'année	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Respect du rendez-vous	Janvier	-1,14	2,04	904
		Février	-1,38	2,50	861
		Mars	-1,38* <sup>9,10,11</sup>	2,02	1 011
		Avril	-1,36* <sup>9,10,11</sup>	2,18	1 030
		Mai	-1,38* <sup>9,10,11</sup>	2,05	1 036
		Juin	-1,36* <sup>9,10,11</sup>	2,02	1 134
		Juillet	-1,36	2,60	1 103
		Août	-1,23	2,13	1 385
		Septembre	1,03* <sup>3,4,5,6</sup>	2,06	1 329
		Octobre	-1,03* <sup>3,4,5,6</sup>	1,76	976
		Novembre	-1,09* <sup>3,4,5,6</sup>	2,04	983
		Décembre	-1,23	2,17	803
	Beaucoup de retard	Janvier	2,30*	2,04	456
		Février	2,92	3,27	572
		Mars	2,96	3,19	670
		Avril	3,21	3,47	680
		Mai	2,72	2,52	632
		Juin	2,75	2,57	652
		Juillet	2,29	1,75	547
		Août	2,30	1,74	755
		Septembre	2,21*	1,77	698
		Octobre	2,42	2,01	732
		Novembre	2,89	2,88	762
		Décembre	3,48*	3,67	636
Beaucoup de retard	Beaucoup de retard	Janvier	2,93	3,09	155
		Février	3,25	3,42	165
		Mars	3,58* <sup>7,8,9</sup>	4,16	223
		Avril	3,69* <sup>7,8,9</sup>	3,98	260
		Mai	3,06	3,56	269
		Juin	2,84	2,70	252
		Juillet	2,21* <sup>3,4,12</sup>	1,70	173
		Août	2,35* <sup>3,4,12</sup>	1,87	241
		Septembre	2,37* <sup>3,4,12</sup>	2,34	237
		Octobre	2,59	2,56	189
		Novembre	2,93	2,86	183
		Décembre	3,48* <sup>7,8,9</sup>	3,58	219

### 5.3.3 Écart du temps estimé de déchargement

Il s'agit de la différence entre le temps prévu à l'horaire et le temps utilisé réel de déchargement par l'équipe de réception. Le calcul du temps prévu utilisé par Metro prend en compte le type de défilage, le nombre de palettes et le nombre de lignes. Si le résultat est négatif : le déchargement a pris moins de temps que ce qui a été prévu à l'horaire. Puisque l'écart est souvent moins d'une heure, l'analyse a été effectuée en minutes.

Le but est d'illustrer le comportement du centre de distribution, soit sa capacité à respecter le temps de déchargement prévu. En considérant les 34 900 bons de commande, l'écart entre le temps de déchargement utilisé et le temps de déchargement assigné à l'horaire suit une loi normale avec une moyenne de -17 minutes et un écart-type de 33,09. Cela signifie que le temps prévu est surestimé d'environ 17 minutes, soit que les employés prennent en moyenne moins de temps que ce qui leur a été assigné pour respecter la plage horaire. La plus faible donnée est -203 minutes, soit près de 3h30 plus rapide que prévu, alors que la donnée la plus élevée est 240 minutes, ce qui signifie que l'équipe de réception a pris 4 heures de plus que le temps assigné à l'horaire pour décharger une remorque.

Même si la majorité des bons de commande ainsi que la moyenne respectent le temps estimé, c'est la portion qui ne respecte pas le temps prévu qui occasionne de nombreux problèmes. En deux ans d'activité, 6 898 bons de commande n'ont pas respecté le temps estimé, ce qui représente 20% des bons de commande analysés. De ces derniers, les employés prennent en moyenne 25,18 minutes de plus que prévu avec un écart-type de 29,90. Nous tenterons d'expliquer cet écart avec les variables indépendantes. On pose l'hypothèse que les écarts positifs occasionnent des retards sur l'heure de début des rendez-vous suivants. De leur côté, les écarts négatifs rattrapent ces retards. Ils peuvent néanmoins créer du temps d'attente aux équipes de réception, si l'horaire est constamment devancé par ces écarts négatifs. Dans le cas de la situation de Metro, les temps d'attente sont minimales, puisque 80% des remorques arrivent en avance. Avec les données recueillies, il n'est pas possible d'identifier le temps d'attente des employés du centre de distribution. Étant donné que c'est le fait de respecter ou non le temps estimé qui nous

intéresse, nous avons considéré seulement les bons de commande qui n'ont pas respecté le temps prévu.

Tel que mentionné à la section 4.4.3, il existe deux sources possibles de variabilité du temps de déchargement: une mauvaise précision du calcul de temps de déchargement planifié ou une productivité plus faible des ressources. Étant donné que la révision du calcul n'est pas dans l'objectif de ce mémoire, nous tenterons d'expliquer cet écart avec trois variables indépendantes qui peuvent avoir une influence sur la productivité des employés. Le quart de travail, le jour de la semaine et le mois de l'année sont les attributs étudiés. Les prochaines sous-sections présentent le résultat du traitement statistique du temps de déchargement du centre de distribution en fonction de ces trois variables indépendantes.

### 5.3.3.1 Quart de travail

L'analyse de la portion des bons de commande ne respectant pas le temps présente une différence significative du quart de travail de jour seulement. Tel que présenté au tableau 17, les employés sur le quart de soir et de nuit présentent un écart du temps de déchargement plus élevé. Nous allons considérer cet attribut dans la création de scénarios faisant varier le temps de déchargement.

Tableau 17 : Écart de déchargement des bons de commande qui n'ont pas respecté le temps prévu selon le quart de travail du déchargement

Variabes	Fournisseur	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Non-respect du temps prévu (Écart positif)	Jour	23,60*	27,56	5 373
	Soir	27,90	30,54	1 122
	Nuit	33,59	48,40	403

### 5.3.3.2 Jour de la semaine et mois de l'année

Le test de Dunn n'indique aucune différence significative de l'écart du temps estimé de déchargement selon le jour de la semaine ou le mois de l'année lorsque le temps de déchargement est supérieur au temps prévu. Ainsi, nous n'utiliserons pas ces deux attributs lors de la création des scénarios pour la simulation.

### 5.3.4 Corrélation entre les attributs

Afin de mieux comprendre les différences significatives de certains attributs, nous avons voulu explorer la corrélation entre les différentes variables indépendantes. Quatre conclusions ont pu être tirées des différentes analyses de corrélation entre les sept variables indépendantes précédemment étudiées. Les résultats sont présentés à l'annexe B. Les variables *Type de fournisseur*, *Quart de travail*, *Type de dépilage* et *Nombre de lignes* présentent des corrélations entre elles.

Premièrement, il y a une corrélation entre les variables *Quart de travail* et *Type de dépilage*. Il y a une plus grande proportion de bons de commande avec un dépilage de type 3, soit beaucoup de dépilage, sur le quart de soir, comparativement aux autres types de dépilage. C'est le quart de jour qui semble avoir une plus faible proportion du type de dépilage 3.

Deuxièmement, il y a une plus grande proportion de bons de commande de dépilage de type 3, soit beaucoup de dépilage, chez les fournisseurs A. À l'inverse, les fournisseurs B ont une moins grande proportion de ce type de dépilage. Il y a donc une corrélation entre les variables *Types de fournisseurs* et *Type de dépilage*.

Troisièmement, il existe une corrélation entre les variables *Quart de travail* et *Type de fournisseur*. Il y a une plus grande proportion de fournisseurs C sur le quart de soir, au détriment du quart de jour.

Finalement, la variable *Nombre de lignes* est corrélée avec la variable *Type de dépilage*. Il y a une plus grande proportion de bons de commande avec un dépilage de type 3 dans les bons de commande avec beaucoup de lignes. À l'inverse, une très grande proportion de bons de commande sans dépilage se retrouve dans la catégorie avec très peu de lignes. Cela est très logique, puisque si le nombre de lignes est élevé, il doit y avoir un certain empilage dans la remorque pour maximiser le voyage.

Ces corrélations permettront de créer des scénarios réalistes supplémentaires.

### 5.3.5 Catégorisation individuelle des fournisseurs

Pour raffiner les analyses et permettre la création d'autres scénarios, nous avons créé un nouvel attribut : les habitudes d'arrivée de chaque fournisseur. En effet, étant donné que ce sont des gestionnaires qui prennent la décision de priorisation d'une remorque, l'écart de début de déchargement peut être affecté par les habitudes des fournisseurs. Le but est de connaître le profil type de chacun des fournisseurs à savoir s'il est normalement en avance, en retard ou très en retard et si c'est plutôt un comportement occasionnel ou récurrent. Ce nouveau regroupement permet de mettre en évidence les fournisseurs fautifs, qui affectent le plus les activités du CD. Les 308 fournisseurs sont regroupés dans cinq catégories distinctes : *En avance*, *Petits retards occasionnels*, *Petits retards récurrents*, *Grands retards occasionnels* et *Grands retards récurrents*. Tout comme dans les analyses précédentes, un petit retard est un écart d'arrivée d'une heure et moins, alors qu'un grand retard est un retard de plus d'une heure.

Selon les analyses précédentes, pour environ 80% des bons de commande, les fournisseurs étaient en avance. Pour qu'un fournisseur soit considéré comme toujours à l'heure, 90% des bons de commande qu'ils livrent doivent être dans cette catégorie. En effet, un comportement du fournisseur parfait, soit un taux de 100% d'arrivée à l'heure inclurait seulement 3 fournisseurs sur le lot. En prenant en compte les pratiques en industrie présentées dans la revue de la littérature, Wal-Mart impose un taux de 95% des livraisons à l'heure. Un taux de 90% semble donc raisonnable étant donné les nombreuses contraintes incontrôlables telles que la météo et le trafic. Après avoir catégorisé les fournisseurs qui ont un comportement généralement *En avance*, nous avons identifié les retards récurrents. Par définition, un comportement récurrent «revient, réapparaît, se reproduit» (Larousse, 2018). Pour qu'un comportement fautif soit récurrent, nous posons l'hypothèse que le fournisseur doit arriver au moins dans 20% du temps très en retard ou 20% du temps un peu en retard. Cette proportion vient des analyses précédentes qui montrent qu'en moyenne, 20% des bons de commande sont en retard. Par contre, cette façon ne nous permet pas de considérer un fournisseur qui arrive à l'occasion un peu en retard et à l'occasion très en retard comme un comportement récurrent. Ainsi, si la somme des bons de commande où le fournisseur arrive très en retard ou un peu en retard est d'au

moins 30%, le fournisseur est catégorisé comme ayant un retard récurrent. Il est raisonnable de croire qu'un fournisseur qui arrive 30% du temps en retard n'est plus considéré comme un fournisseur ayant un retard occasionnel. C'est le type de retard qui a la proportion la plus élevée qui détermine le type de retard récurrent. Dans un cas d'égalité des proportions de petits et grands retards, le fournisseur sera considéré *Grands retards récurrents*. Finalement, tous les fournisseurs qui n'ont pas été étiquetés d'un comportement *En avance, Grands ou Petits retards récurrents* sont dans les retards occasionnels. Encore une fois, le fournisseur est associé à la catégorie, grands ou petits retards, qui a la proportion la plus élevée. Dans un cas d'égalité des proportions de petits et grands retards, le fournisseur sera considéré *Grands retards occasionnels*. Les conditions d'affectation d'un fournisseur à une catégorie ainsi que l'ordre utilisé pour les catégoriser sont décrits dans le tableau 18.

Tableau 18 : Conditions d'affectation des fournisseurs à une catégorie

**1. En avance**

---

A. 90% des bons de commande pour lequel le fournisseur est arrivé à l'heure.

**2. Grands retards récurrents:**

---

A. La proportion de grands retards est d'au moins 20% des bons de commande totaux du fournisseur.

B. Combinaison de retards (petits et grands) est supérieure ou égale à 30% des bons de commande et la proportion de grands retards est supérieure ou égale à la proportion de petits retards de ce même fournisseur.

**3. Petits retards récurrents:**

---

A. La proportion de petits retards est d'au moins 20% des bons de commande totaux du fournisseur.

B. Combinaison de retards (petits et grands) est supérieure ou égale à 30% et la proportion de petits retards est supérieure à la proportion de grands retards de ce même fournisseur.

**4. Grands retards occasionnels:**

---

A. Si n'est pas catégorisé *En avance*, *Grands* ou *Petits retards récurrents* et que la proportion de grands retards est supérieure ou égale à la proportion de petits retards de ce même fournisseur.

**5. Petits retards occasionnels:**

---

A. Si n'est pas catégorisé *En avance*, *Grands* ou *Petits retards récurrents* et que la proportion de petits retards est supérieure à la proportion de grands retards de ce même fournisseur.

De cette analyse, on peut identifier trois catégories de comportements qui ressortent et qui sont présentés dans le tableau 19. On remarque que 37% des fournisseurs ont des petits retards occasionnels. Ceux-ci sont probablement difficiles à changer, puisque ce sont des retards qui ont un impact léger sur l'horaire et qui sont peu fréquents. Les catégories *Grands retards occasionnels* et *récurrents* représentent un total de 44% des fournisseurs. Ces retards ont un impact important sur les activités du centre de distribution.

Tableau 19 : Catégorisation individuelle du comportement habituel des fournisseurs

Catégorie	En avance	Petits retards occasionnels	Petits retards récurrents	Grands retards occasionnels	Grands retards récurrents
Nombre de fournisseurs	48	77	46	63	74
Proportion	16%	25%	15%	20%	24%

On peut donc catégoriser individuellement chaque fournisseur dans l'une des cinq catégories : *En avance*, *Petits retards occasionnels*, *Petits retards récurrents*, *Grands retards occasionnels* et *Grands retards récurrents*. Il sera ainsi possible d'utiliser cette nouvelle catégorisation dans la simulation pour obtenir une distribution plus fine et mieux reproduire le comportement historique du fournisseur associé à un bon de commande.



## **Chapitre 6**

# **Développement du modèle de simulation**

Tel que présenté au chapitre 3, la démarche d'une recherche utilisant la simulation à événements discrets présente huit étapes. La définition du problème a été présentée au chapitre 4 et la collecte des données au chapitre 5. Pour suivre cette méthodologie, le chapitre 6 aborde le développement du modèle de simulation qui permettra de tester une série de scénarios et d'évaluer leur impact sur les mesures de performance du processus de réception de remorques. Les différents scénarios étudiés seront élaborés à la suite des analyses statistiques effectuées au chapitre 5. Le modèle de simulation comporte deux grandes parties : les données d'entrée qui alimentent le modèle et le moteur de la simulation qui effectue les différentes tâches, déplacements et changements d'état. Dans ce qui suit, nous présenterons les hypothèses de conception du modèle, les données d'entrée, suivi du cœur de la simulation, soit le moteur de la simulation. Les mesures de performance et les paramètres de gestion requis seront ensuite présentés, puisqu'ils sont étroitement liés au moteur de la simulation. Finalement, la vérification et la validation du modèle seront effectuées en utilisant l'historique des écarts de début de déchargement et les temps d'attente des fournisseurs de l'entreprise.

### **6.1 Modèle de simulation**

Nous reprenons le schéma présenté au chapitre 3 qui illustre les principaux éléments nécessaires au développement du modèle de simulation, présenté à la figure 14. Avant de détailler chaque boîte du schéma, nous allons présenter les hypothèses qui sous-tendent le modèle. Dans notre cas, le but de la simulation est de représenter le fonctionnement du processus de réception de l'entreprise étudiée. Ainsi, nous allons reproduire le plus fidèlement possible le déroulement de l'activité de réception des remorques.

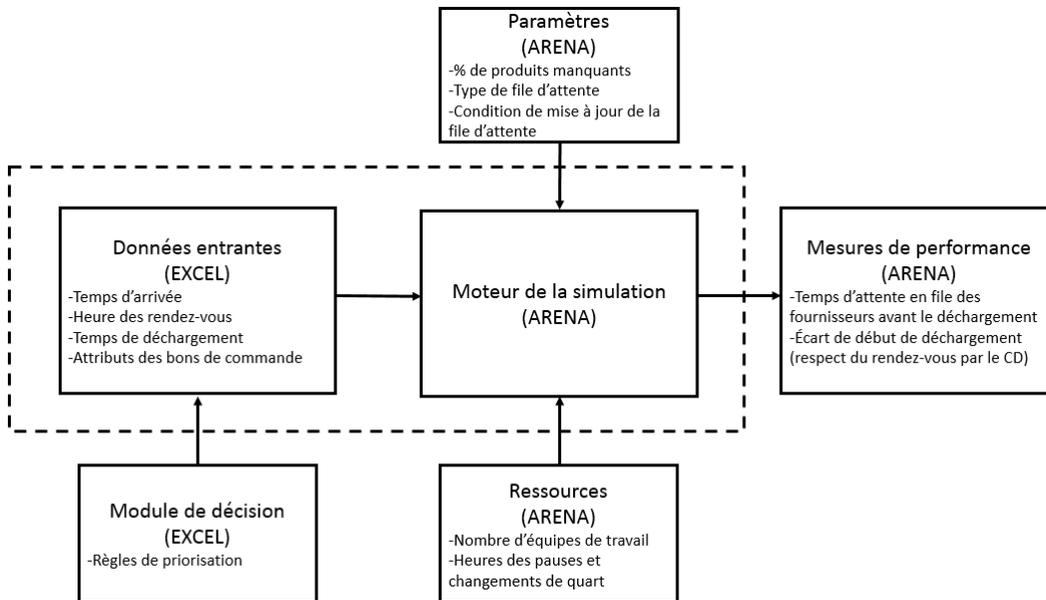


Figure 14 - Schéma du modèle de simulation utilisé dans ce mémoire

Notre première hypothèse est qu'un gestionnaire prend connaissance des informations sur les bons de commande avant de décider de la priorité à attribuer au bon de commande. Ainsi, une fois arrivée sur le site, la remorque contenant le bon de commande est placée en file d'attente et une priorité lui est attribuée par le gestionnaire. Cette priorité associée au bon de commande peut toutefois être modifiée de façon dynamique. Par exemple, un gestionnaire pourrait changer de priorité une remorque qui excède un certain temps d'attente. Pour bien représenter une gestion adéquate des priorités fait par un gestionnaire, notre modèle doit être en mesure de mettre à jour la file d'attente. Cette fonctionnalité sera discutée dans la section 6.3 lors de la présentation des blocs du moteur de la simulation.

Nous posons comme deuxième hypothèse qu'aucune décision externe ou information supplémentaire ne s'ajoute au modèle. Par exemple, la demande d'un déchargement hâtif pour obtenir une remorque et effectuer une livraison ou l'appel d'un fournisseur faisant pression n'est pas considéré par le modèle de simulation. Bien que ces événements occasionnels arrivent en réalité, nous n'avons pas l'information sur la fréquence de ces événements. Ainsi, le seul élément pouvant modifier de façon dynamique une priorité est le temps tel que présenté dans la première hypothèse.

Lors d'une pause des employés ou un changement de quart, nous posons comme troisième hypothèse que les ressources cessent immédiatement le travail, deviennent inactives et reprennent le déchargement au moment de la fin de la période de pause. Cela suit le même principe où le son d'une cloche indique l'arrêt immédiat du travail dans un contexte d'entreprise.

La dernière hypothèse concerne la stabilité du nombre de ressources. Excepté la variation du nombre de ressources par quart de travail, le nombre de ressources est stable en fonction du jour de la semaine et du mois de l'année. En effet, dans la réalité, pour pallier aux volumes variables de bons de commande à réceptionner, du temps supplémentaire est effectué. Nous avons choisi de ne pas créer de temps supplémentaire, puisque cette décision arbitraire dépend de plusieurs facteurs externes à l'activité de réception. Le volume d'expédition prévisionnel et le taux d'absentéisme en sont des exemples. De plus, selon la connaissance de l'auteure, le temps supplémentaire se fait davantage le dimanche, une journée où il y a moins de ressources planifiées en raison d'un volume de rendez-vous moins grand. Ainsi, nous avons ajusté le nombre de ressources disponibles afin de compenser cette absence et éviter de faire du temps supplémentaire.

## **6.2 Données d'entrées**

Une composante importante du modèle de simulation est les données d'entrée, incluant l'ensemble des bons de commande de même que leurs caractéristiques. En effet, dans le processus de réception de remorques, l'arrivée des fournisseurs déclenche le processus qui mènera au déchargement des remorques. Le temps d'arrivée des fournisseurs, l'heure de leur rendez-vous ainsi que le temps de déchargement associé à chaque bon de commande sont inclus dans les données d'entrée. Les attributs propres à chaque bon de commande, décrits au chapitre 5, sont aussi incluses dans les données d'entrée. Le contenu du bon de commande, tel que le nombre de palettes et le nombre de lignes sont des informations pertinentes à la prise de décision d'un gestionnaire, qui sera représentée au sein du modèle de simulation. Les informations du bon de commande sont déterminées à partir d'une base de données externe lue par le système pour éviter d'avoir à refaire un horaire, une composante hors de l'objectif du mémoire.

Au chapitre 5, nous avons présenté la collecte et le nettoyage de données qui ont servi au traitement statistique. Afin d'analyser seulement des données fiables, le nettoyage de données au chapitre 5 avait éliminé 51% des données recueillies, car elles présentaient des informations manquantes, erronées ou représentaient des cas spécifiques d'un comportement. Les données d'entrée servant à alimenter le moteur de la simulation sont plus complètes que celles utilisées dans le traitement statistique. Les données manquantes ou erronées ont été générées grâce aux distributions obtenues lors de l'analyse statistique. Les seules données supprimées sont celles qui représentent des bons de commande en double, qu'ils soient reportés ou non. De plus, pour lier la base de données avec ARENA, nous avons dû utiliser une version antérieure du programme EXCEL qui comporte certaines limites. Ainsi, puisque le nombre de lignes maximal dans cette version est de 65 536 lignes, nous avons dû éliminer les données les plus anciennes représentant 17 jours en juillet 2015, pour obtenir une base de données de 65 514 bons de commande, soit 91% des données initiales. Le tableau 20 présente les données d'entrée utilisées pour la validation du modèle et l'expérimentation, alors que le tableau 21 présente les attributs associés à chaque bon de commande utilisé pour la prise de décision. La dernière colonne de ces tableaux présente la proportion des données associées aux données d'entrée.

Tableau 20 : Données d'entrée du modèle de simulation

Données d'entrée	Provenance	Fréquence	Proportion
	Total	Historique	65 514
Temps d'arrivée	S'est présenté		65 378 99.79%
	Ne s'est pas présenté		136 0.20%
	Total	Historique	65 378
File d'attente	Avec chauffeur en attente		53 070 81.17%
	Sans chauffeur en attente		12 308 18.83%
	Total	Historique	53 070
Écart d'arrivée par rapport à l'heure du RV des chauffeurs en attente	Arrivé à l'heure		36 219 68.25%
	Arrivé un peu en retard (max 1h)		8 408 12.86%
	Arrivé avec beaucoup de retard (plus d'1h)		8 443 12.91%

Tableau 21 : Attributs des bons de commande utilisés dans le modèle de simulation

Attributs		Proportion
Type de fournisseur	A	60.01%
	B	25.59%
	C	14.32%
Quart de travail du rendez-vous	Jour	77.51%
	Soir	17.65%
	Nuit	4.84%
Quart de travail du déchargement	Jour	70.38%
	Soir	22.65%
	Nuit	6.97%
Type de dépilage	1- Aucun dépilage	49.54%
	2- Un peu de dépilage	40.03%
	3- Beaucoup de dépilage	10.43%
Nombre de lignes	[1,5]	80.18%
	[6, 10]	11.60%
	[11, 15]	4.12%
	[16, 20]	2.42%
	[21, ∞[	1.68%
Nombre de palettes	[1,15]	54.62%
	[16, 30]	30.77%
	[31, 45]	13.64%
	[46, ∞ [	0.97%
Jour de la semaine	Dimanche	7.68%
	Lundi	16.28%
	Mardi	17.08%
	Mercredi	17.44%
	Jeudi	15.63%
	Vendredi	14.93%
	Samedi	10.58%
Mois de l'année	Janvier	7.13%
	Février	3.60%
	Mars	8.79%
	Avril	8.57%
	Mai	9.31%
	Juin	9.24%
	Juillet	5.66%
	Août	9.97%
	Septembre	9.52%
	Octobre	8.50%
	Novembre	9.74%
	Décembre	7.56%

### **6.3 Le moteur de la simulation**

La simulation à événements discrets vise à la modélisation d'un système et son évolution à travers le temps. En fait, pendant la simulation, une série d'événements se succèdent à mesure que le temps avance. Ainsi, la simulation à événements discrets change l'état des entités de façon ponctuelle à travers le temps en suivant les règles du modèle. Le logiciel de simulation ARENA a été choisi pour créer le moteur de la simulation en raison de sa facilité d'usage, des outils disponibles pour ce logiciel ainsi que de son accessibilité. Le principe d'ARENA est de générer des entités, par exemple, des bons de commande ou des tâches à réaliser, qui se déplacent dans le système. Pour représenter le processus, une série de blocs, appelés modules, sont combinés permettant d'assurer le flux des entités. Les ressources, par exemple les employés, effectuent les tâches. Les modules sont activés par le passage d'une entité. Les entités se déplacent de module en module et modifient l'état du modèle au fil du temps. Les modules permettent la réalisation d'activités, la prise de décision, l'affectation de délais et la modification d'un attribut par exemple. La construction du moteur de la simulation se fait par la combinaison des modules proposés par le logiciel ARENA avec différentes fonctionnalités permettant de représenter le plus fidèlement possible la réalité du processus. La figure 15 illustre le moteur de la simulation dans son ensemble. D'un point de vue général, les remorques arrivent dans le système, se font décharger et quittent le système. Toutefois, pour bien représenter les prises de décision, la gestion des files d'attente, l'utilisation des ressources et les mesures de performance, le système doit combiner plusieurs modules avec des fonctionnalités distinctes, correspondant chacun à une boîte sur la figure 15. Nous nous sommes inspirés de la cartographie du processus de réception de remorques effectuée à la section 4.1 afin de réaliser la combinaison des modules du moteur de la simulation.

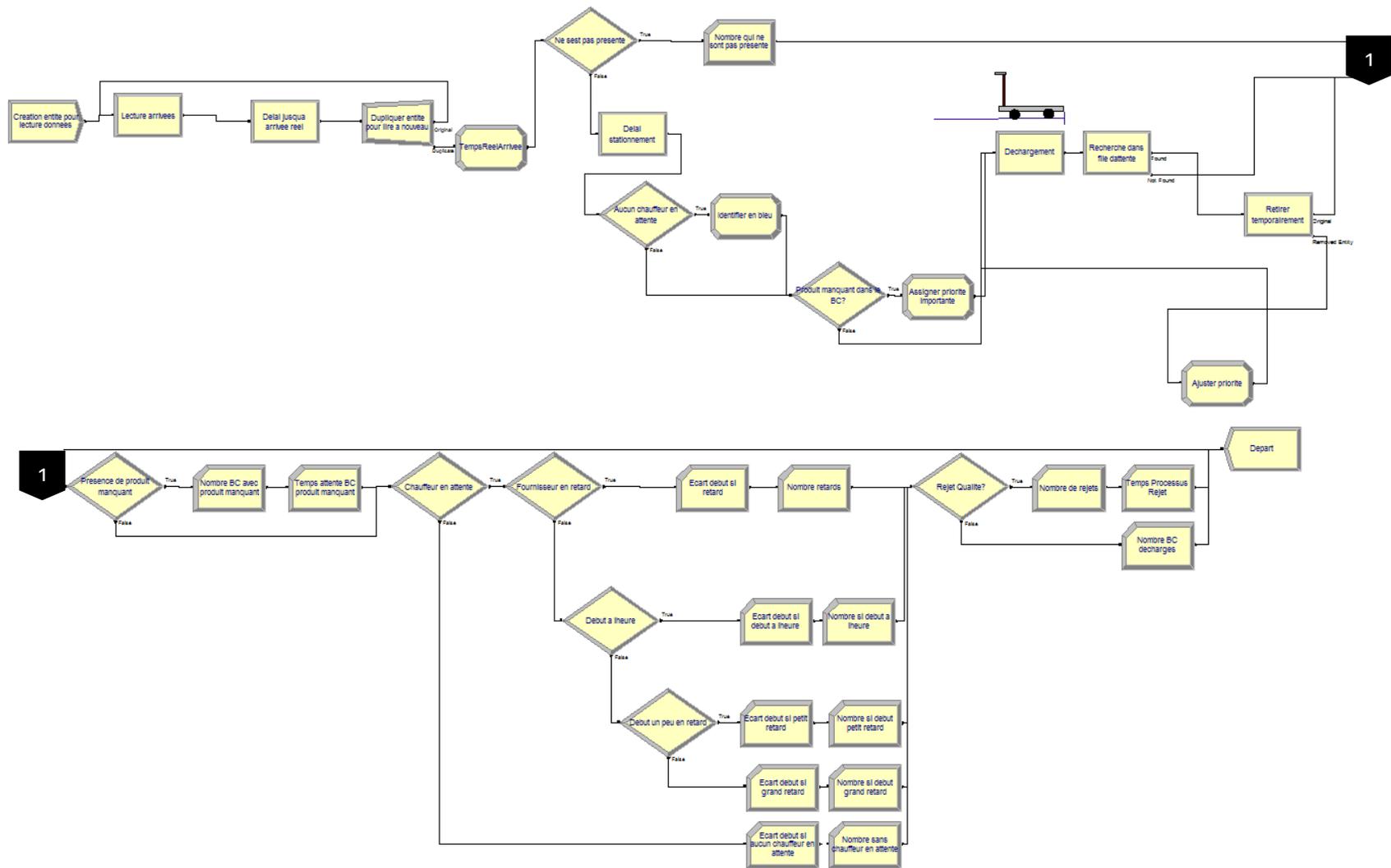


Figure 15 - Moteur de la simulation



Le moteur de la simulation se divise en quatre sous-parties:

- (1) La lecture des temps d'arrivées;
- (2) La mise en attente pour le déchargement;
- (3) Le changement dynamique de la file d'attente;
- (4) L'enregistrement des mesures de performance.

La figure 16 illustre la première sous-partie du système, soit la lecture des temps d'arrivées, qui comporte cinq modules. Il est important de noter ici que toutes les données associées à un bon de commande incluant l'heure d'arrivée et le temps de déchargement sont lues dans le fichier externe, tel que décrit dans la section 6.2. Ainsi, au début de chaque simulation, une entité est créée afin d'activer la lecture et d'entreprendre le traitement à travers le système. Le module qui permet de débiter le modèle de simulation est *Create*. Ce module est conçu comme le point de départ pour les entités dans le modèle de simulation. Dans notre cas, une seule entité est créée. Celle-ci a pour rôle de lire la base de données. Le module *ReadWrite* permet à l'entité de lire, à partir du document externe, les temps d'arrivée, les temps de déchargement ainsi que tous les attributs associés au bon de commande.

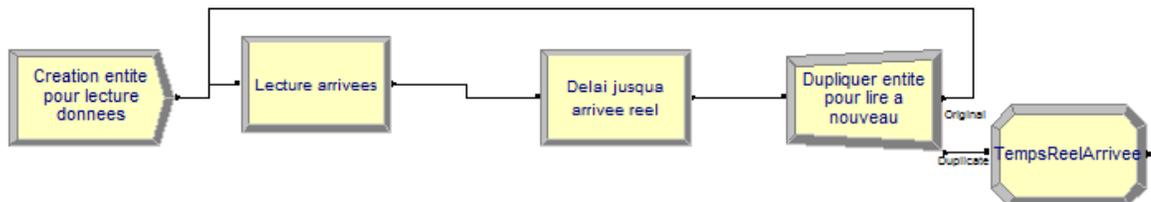


Figure 16 - Sous-partie du système destinée à la lecture des temps d'arrivées dans la simulation

Une fois les informations enregistrées et associées à l'entité, celle-ci passe à travers le module *Delay* qui retarde l'entité d'une durée spécifiée. Un délai entre le moment où l'entité lit la donnée provenant de la base de données EXCEL et le temps d'arrivée de la remorque, tel qu'enregistré dans le fichier de données. Par exemple, si la simulation débute le 1<sup>er</sup> janvier 2016 à minuit et que la première remorque arrive seulement à 2h00 de la même journée, le module *Delay* fait attendre l'entité pendant 2 heures, soit le délai entre la lecture de la donnée au début de la journée et le temps d'arrivée d'une remorque.

Ce délai ne correspond donc pas au temps d'attente des remorques et est utilisé uniquement pour la génération des entités, soit les bons de commande.

Le quatrième module de cette sous-partie du processus est un module *Separate* qui a la particularité d'avoir deux sorties : *Original* et *Duplicate*. Après avoir lu une première donnée dans la base EXCEL, ce module permet de dupliquer l'entité de départ. L'entité originale est connectée au module *ReadWrite* pour générer l'arrivée du prochain bon de commande, alors que l'entité copiée continue le chemin à travers le système. En d'autres termes, cette dernière correspond à une remorque qui poursuit son chemin vers l'étape de déchargement. Un module *Assign* est connecté à la sortie des entités copiées, afin d'assigner le temps réel d'arrivée de l'entité dans le modèle. Cet attribut est égal au temps d'arrivée du bon de commande tel qu'indiqué dans la base de données. Il permet donc de vérifier que cette sous-partie du moteur de la simulation lit les données de la même façon que dans l'historique.

Une fois les remorques arrivées, celles-ci doivent attendre pour se faire décharger. La seconde sous-partie du moteur de la simulation, illustrée par la figure 17, comporte neuf modules qui permettent d'attribuer une priorité au bon de commande pour le déchargement et la mise en attente. En se référant au tableau 20 de la section 6.2, 136 bons de commande ne se présentent pas au centre de distribution, et ce sans l'avoir informé préalablement. Ces bons de commande n'ont donc pas de temps d'arrivée. Ainsi, le temps d'arrivée lu dans le fichier correspond à l'heure du rendez-vous. Un module *Decide* sépare les bons de commande qui ne se sont pas présentés de ceux qui se sont présentés.

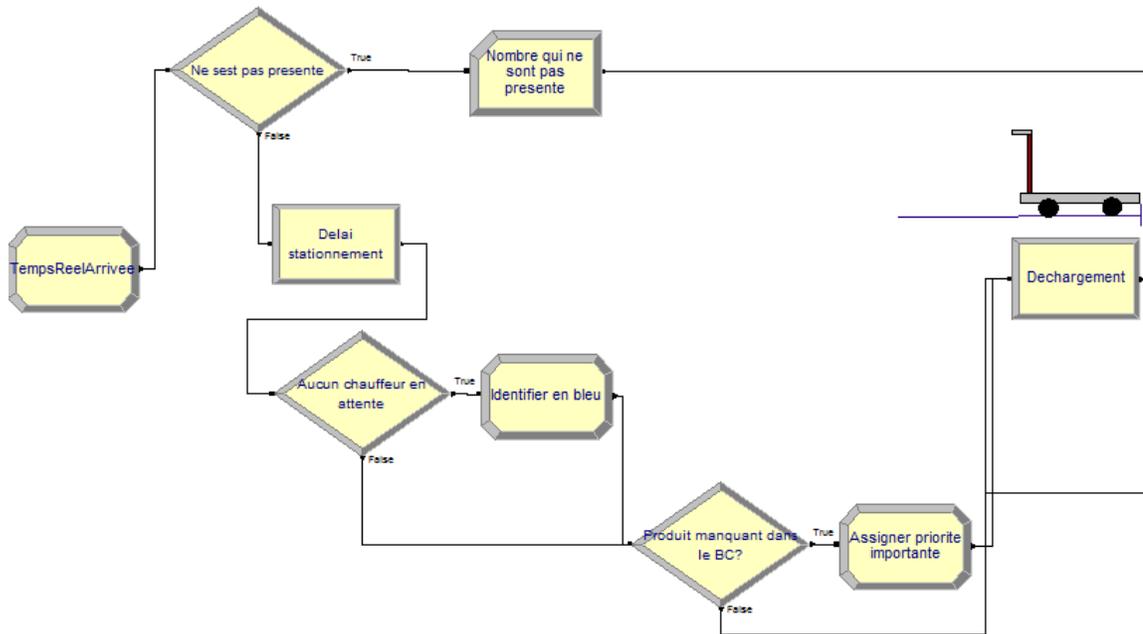


Figure 17 - Sous-partie du système destiné à la mise en attente pour le déchargement de la simulation

Dans le cas où un fournisseur ne se présente pas malgré un rendez-vous, l'entité est dirigée vers un module *Record* qui compte le nombre d'entités qui passent par ce module ou de manière équivalente, le nombre de remorques qui ne se présentent pas. Si la remorque se présente au centre de distribution, l'entité prend le deuxième chemin et se dirige vers un module *Delay*. Ce module représente le temps de déplacement de la remorque entre l'arrivée à la guérite et le stationnement puis du stationnement au bureau du centre de distribution. Un délai déterministe est affecté à toutes les remorques qui se présentent sur le site et peut être modifié au besoin.

Parmi les bons de commande présents, certains ont la particularité de ne pas avoir un chauffeur en attente. En effet, si Metro assure le transport des marchandises ou si le fournisseur a une entente avec le centre de distribution, la remorque est laissée sans chauffeur en attente. Afin de faciliter la vérification du modèle, la combinaison des blocs *Decide* et *Assign* permet d'identifier ces entités d'un signe visuel distinct pour l'observateur lorsqu'une remorque est laissée sans chauffeur.

Finalement, dans le cas où le fournisseur s'est présenté, il est possible que le bon de commande contienne un produit manquant. Les entités se dirigent donc vers un autre bloc

*Decide* afin de déterminer s'il y a un produit manquant. Si tel est le cas, le comportement privilégié par Metro est de prioriser le déchargement des bons de commande. Selon l'expérience de l'auteure, environ 10% des remorques qui se présentent au centre de distribution ont un produit manquant pour les commandes des clients. Afin de représenter adéquatement ce phénomène, chaque bon de commande sera identifié comme produit manquant avec une probabilité de 10%. À cet effet, un module *Assign*, ajuste la priorité de l'entité, avant de se connecter au module *Process* qui correspond au déchargement de la remorque. Si l'entité n'a pas de produit manquant, elle est connectée directement au module de déchargement et se met en file d'attente. Le module *Process* est le cœur du moteur de la simulation. Il s'agit de l'activité de déchargement des remorques. Le temps de traitement d'une entité correspondant au temps de déchargement inclus dans la base de données EXCEL.

Dans la réalité opérationnelle, un bon de commande est mis en file d'attente dès son arrivée. Le module *Queue* permet de choisir le type de priorisation entre un système *Premier entré, premier sorti* (PEPS), *Dernier entré, premier sorti* (DEPS) ou selon la valeur d'un attribut. En utilisant cette fonctionnalité, il est possible de créer des règles de priorisation en fonction d'un attribut. Dans notre modèle, cet attribut correspond au niveau de priorité associé à chaque bon de commande. Ce paramètre sera expliqué plus en détail à la section 6.5. Par contre, une fois dans la file d'attente, cette fonctionnalité ne permet pas de mettre à jour la position des bons de commande dans la file d'attente. Ainsi, pour effectuer cette mise à jour de façon dynamique, nous avons ajouté un module *Search* afin de vérifier le respect des conditions de chaque entité en file d'attente. La figure 18 illustre cette troisième sous-partie du modèle de la simulation, comportant seulement trois modules.

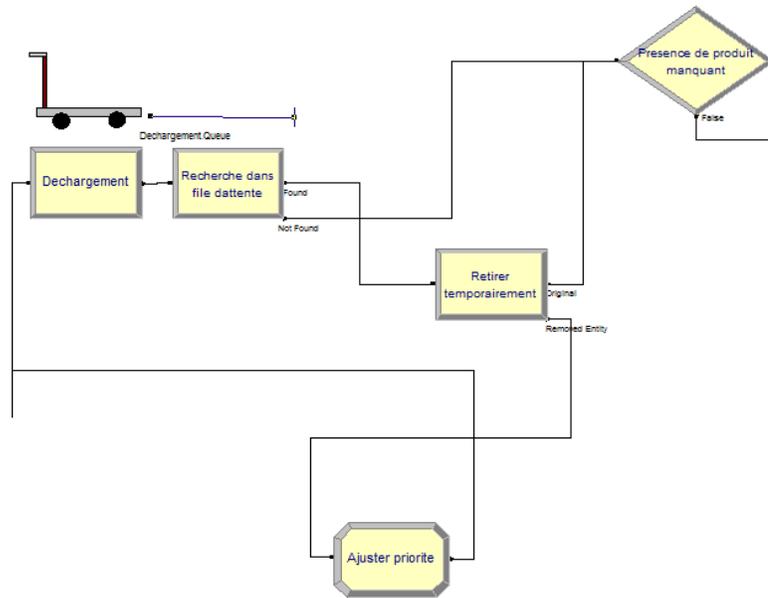


Figure 18 - Sous-partie du système destiné au changement dynamique de la file d'attente. Chaque fois qu'une entité sort du processus de déchargement, elle active la vérification des entités en file d'attente dans le but de modifier l'attribut *Priorité* qui y est associé. Pour ce faire, le module *Search* (Recherche dans la file d'attente) vérifie si une entité répond à la condition imposée. Un temps maximal passé en file d'attente pourrait être imposé comme condition. Si c'est le cas, l'entité se dirige vers un module *Remove* qui retire temporairement l'entité de la file d'attente. Deux entités sortent du module *Search*. Le module *Remove* a donc deux sorties : *Original* et *Removed entity*. L'entité originale, qui a activé la vérification à la suite de son déchargement, continue le chemin à travers le système vers la prise des mesures de performance. L'entité qui a été retirée de la file d'attente se voit assigner une nouvelle priorité toujours grâce à un module *Assign*. L'entité pour laquelle la priorité a changé est ensuite redirigée vers le processus de déchargement où elle sera placée en file. Si aucun bon de commande ne répond à la condition imposée, l'entité originale poursuit simplement son chemin vers la prise de mesures de performance. À chaque fois que le déchargement d'une entité est complété, la prochaine entité à décharger dans la file est choisie en fonction du critère établi.

Il est important de prendre les mesures de performance nécessaires afin de bien évaluer notre processus, la dernière sous-partie du système, illustrée à la figure 19, permet donc d'enregistrer différentes mesures de performance. Ainsi, à la suite du processus de

déchargement, les entités passent par plusieurs modules *Decide* qui séparent les entités afin d'enregistrer adéquatement les mesures de performance souhaitées. Les modules *Record* enregistrent les mesures choisies, dans notre cas des intervalles de temps et des dénombrements. Les mesures enregistrées sont discutées plus en détail à la section 6.4.

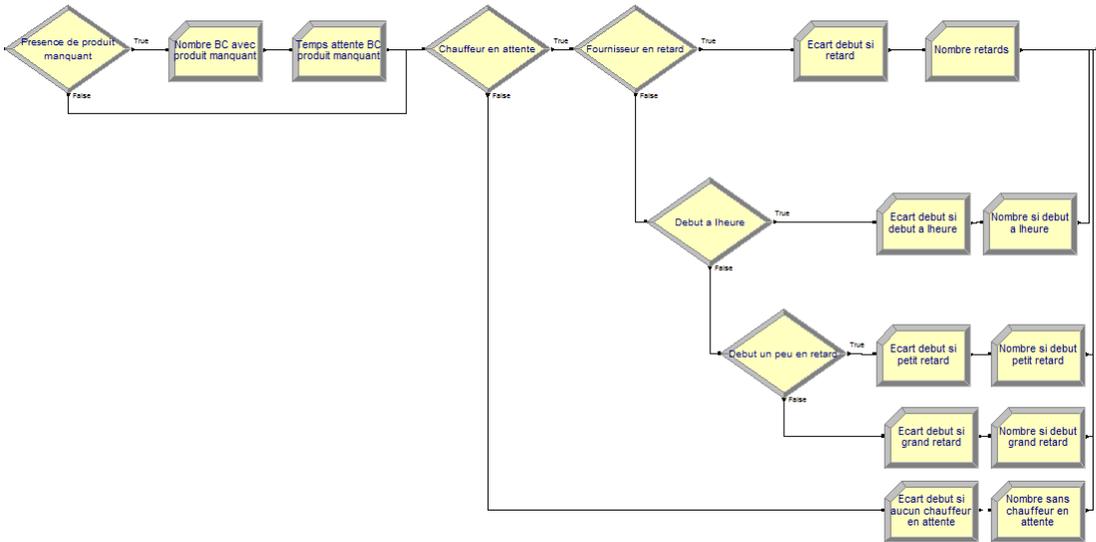


Figure 19 - Sous-partie du système destiné à la prise de mesures de performance de la simulation

Finalement, si le bon de commande est rejeté par l'assurance qualité lors du déchargement, les mesures du temps de déchargement sont enregistrées séparément. Enfin, les entités terminent le trajet du système pas un module *Dispose* qui constitue le point final des entités dans le modèle. Il s'agit du départ des remorques. La fin du modèle est illustrée à la figure 20.

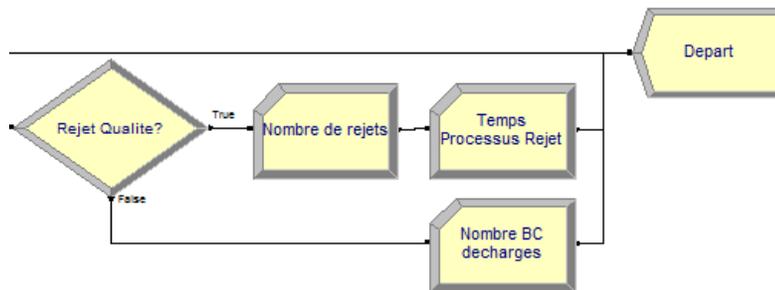


Figure 20 - Fin du modèle de la simulation

## 6.4 Mesures de performance

À la fin de chaque simulation, différentes mesures sont enregistrées aux fins d'analyse. Un rapport créé automatiquement par le logiciel utilisé, ici ARENA, un certain nombre de mesures de performance de base au logiciel. Les mesures qui sont fournies par le logiciel ARENA et utiles à notre analyse sont le temps total du processus de la création d'une entité à sa sortie, le temps d'attente moyen de l'ensemble de la file d'attente du processus de déchargement et le temps de déchargement moyen des entités.

D'autres mesures ont été ajoutées par l'entremise des modules *Record*. Parmi ces mesures, on retrouve le temps moyen en file d'attente pour les bons de commande de cinq groupes particuliers en fonction de la présence d'un chauffeur en attente, l'écart d'arrivée du fournisseur et l'écart de début de déchargement divisent ces nouvelles mesures de performance. Ces groupes sont expliqués au tableau 22. Le nombre de bons de commande et l'écart de début du déchargement de ces bons de commande sont enregistrés séparément pour chacune des catégories décrites.

Tableau 22 : Conditions des groupes de mesures de performance

Groupes de mesures	Présence d'un chauffeur en attente	Arrivée du fournisseur (à l'heure)	Arrivée du fournisseur (en retard)	Début de déchargement à l'heure	Début de déchargement dans l'heure suivant le rendez-vous	Début de déchargement plus d'une heure après le rendez-vous
1	√	√		√		
2	√	√			√	
3	√	√				√
4	√		√			
5		√	√			

## 6.5 Ressources

Dans un contexte industriel, il est important de spécifier le nombre de ressources disponibles et les heures de pause des employés et de changements de quarts de travail, c'est-à-dire les moments où aucune ressource n'est disponible pour effectuer le déchargement. Tel qu'illustré à la figure 21, nous avons créé un horaire de disponibilités des ressources, à l'aide du module de données *Schedule*. Selon nos hypothèses, le même horaire est répliqué à tous les jours inclus dans l'étude de la simulation. Plus concrètement, six ressources sont affectées au quart de jour, soit de 6h15 à 13h45, trois ressources au quart de soir, soit de 14h15 à 22h15 et deux ressources au quart de nuit, soit de 22h45 à 5h30. Les heures de pause et de changements de quart ont été ajustées selon la réalité de l'entreprise.

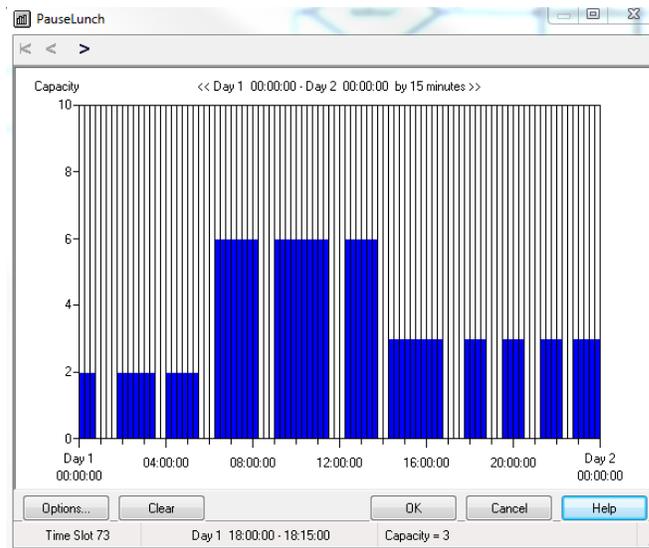


Figure 21 - Module *Schedule*

## 6.6 Paramètres et module de décision

Contrairement aux attributs des bons de commande, les données historiques ne nous permettent pas de connaître la prise de décision historique des gestionnaires. Ainsi, des paramètres doivent être ajoutés au modèle de simulation afin de raffiner l'exécution du modèle. Les paramètres utilisés, leur mesure ainsi que la valeur attribuée si tel est le cas sont présentés au tableau 23.

Tableau 23 : Description des paramètres de gestion du modèle de simulation

Paramètres de gestion du modèle	Mesures	Valeur de l'attribut <i>Priorité</i>
1. Proportion de bons de commande avec un produit manquant	Probabilité de 10% aléatoire	6
2. Type de file d'attente	Valeur la plus élevée de l'attribut <i>Priorité</i>	-
3. Règles de l'attribut priorité	Aucun chauffeur en attente	0
	Écart d'arrivée du fournisseur > 1 heure	1
	Type de dépilage 2	2
	Type de dépilage 1 ou 3	3
	Comportement historique d'arrivée <i>En avance</i> ou <i>Retards occasionnels</i>	4
4. Condition de mise à jour de la file d'attente	T(NOW)-Temps d'arrivée > 1 heure	5

La proportion de bons de commande avec un produit manquant à l'inventaire n'est pas connue avec certitude. Cet événement est occasionnel et a pour conséquence de prioriser un déchargement. En effet, le besoin d'un produit particulier pour expédier des commandes clients est un motif important pour accorder une priorité élevée à ce déchargement. Une probabilité aléatoire de 10% est imposée selon les connaissances de l'auteur et une priorité de 6, soit la plus élevée, est attribuée à chaque bon de commande avec produit manquant.

Un second paramètre que nous avons imposé est le choix du type de gestion de la file d'attente. Le module *Queue* permet d'ajuster le système de gestion de la file d'attente du déchargement afin d'utiliser la valeur la plus élevée de l'attribut *Priorité*. En d'autres termes, les bons de commande avec une priorité plus élevée sont déchargés en premier.

Cet attribut est généré en suivant des règles de priorisation des bons de commande. Nous ne connaissons pas avec exactitude les règles mises en place dans la réalité opérationnelle de Metro. Par contre, selon la connaissance de l'auteure, nous avons établi des règles de priorisation qui permettent de refléter les règles en place. À l'heure actuelle, l'attribut *Priorité* est inclus dans le fichier de données EXCEL. L'attribution de la priorité initiale d'un bon de commande est réalisée en fonction de ses caractéristiques propres. La priorité pourra toutefois être ajustée au cours de la simulation. Les deux prochaines sections expliquent les étapes de vérification et de validation du modèle

## **6.6 Vérification du modèle**

L'étape de vérification du modèle a pour but de s'assurer du bon fonctionnement technique du modèle de simulation. On s'assure alors que le modèle reproduit exactement ce pour quoi il a été programmé (Altiok et Melamed, 2007). Les données utilisées lors de la vérification sont celles présentées aux tableaux 20 et 21 de la section 6.2 du présent chapitre. Les paramètres utilisés lors de la vérification sont présentés à la figure 21 et au tableau 23 de la section 6.5. Nous nous sommes inspirées des techniques proposées par Kelton et al. (2004) et Sargent (2013) pour vérifier le modèle de simulation. Tout d'abord, les bonnes pratiques de programmation ont été utilisées lors de la construction du modèle. Chaque ajout de module était séparé par une série de tests afin de s'assurer que le moteur de la simulation exécute bien, au niveau technique, le module ajouté. Par le fait même, nous avons combiné à ces pratiques la technique de vérification pas-à-pas ayant pour but de suivre une entité à chaque étape de sa progression dans le modèle et de vérifier ses déplacements et les différents changements d'attributs. À ce stade, on vérifie aussi que le mouvement des entités dans la file d'attente est cohérent.

L'ajout de certaines animations dans le modèle de simulation a aussi permis de faciliter le suivi des entités. Par exemple, le processus de déchargement a été muni d'une animation différente lorsqu'une ressource est disponible, lorsqu'elles sont toutes occupées ou lorsque celles-ci sont inactives, soit durant les pauses et les changements de quart. De plus, les entités présentant un attribut à surveiller ont été affectées d'un symbole visuel différent pour faciliter la vérification. Ainsi, les entités dont les bons de commande sont sans chauffeur en attente, ont un produit manquant ou sont mis en priorité à la suite d'un

changement dynamique ont des symboles visuels distinctifs. Finalement, la comparaison des données d'entrée provenant du document EXCEL et celles issues des modules *Record* du moteur de la simulation ont permis de vérifier la lecture adéquate de la base de données. Le temps de déchargement moyen est un des points de comparaison de nos essais. Il est présenté dans le tableau 24 de validation de la prochaine section.

## **6.7 Validation du modèle**

Une fois le modèle vérifié, la validation a pour objectif d'assurer la crédibilité du modèle, c'est-à-dire que le modèle est une représentation fidèle du système réel étudié (Aitok et Melamed, 2004). La comparaison des résultats de la simulation et celles de l'historique est la principale technique pour valider un modèle. Toutefois, la comparaison ne doit pas se faire avec la base de données utilisée pour l'analyse statistique, car elle représente seulement le comportement normal sans les cas particuliers. Nous avons donc utilisé les données d'entrée présentées à la section 6.2 aux fins de validation. Comme le but est de valider notre modèle avec la réalité opérationnelle, nous avons comparé les mesures de performance en compilant les données historiques et celles obtenues en utilisant le simulateur. Puisque les données d'entrée ne sont pas aléatoires, mais plutôt basées sur les valeurs réelles tirées de l'historique, une seule réplication est nécessaire. Malgré la probabilité de 10% imposée dans le modèle pour déterminer la présence d'un produit manquant dans un bon de commande, cette condition ne crée pas de variation au niveau des résultats. Pour nous en assurer, nous avons effectué des tests préliminaires. À la suite de dix réplifications, les résultats étaient les mêmes pour toutes les mesures de performance. Finalement, pour assurer une validation adéquate, nous avons utilisé trois groupes de mesures de performance. Le tableau 24 présente les deux premiers groupes.

Tableau 24 : Première partie de la validation du modèle de simulation

	Vérification	Validation de la base de données			
Mesures de performance Comparaison	Temps de déchargement moyen	Temps moyen en file d'attente	Écart de début s'il s'agit d'un bon de commande sans chauffeur en attente	Écart de début s'il s'agit d'un bon de commande avec chauffeur en attente	
				Fournisseur arrivé en retard	Fournisseur a respecté le RV
Historique 2015-2017	0.84	3.35	7.85	2.46	0.36
Simulation	0.84	2.87	8.72	2.34	0.01
Différence	-	0.48	-0.87	0.12	0.35

Tout d'abord, nous avons comparé le temps moyen en file d'attente, calculé en heures. Il s'agit du temps entre l'arrivée de la remorque et le début du déchargement. Or, cette mesure ne considère pas l'heure du rendez-vous. Les données historiques présentent un temps moyen en file d'attente de 3,35 heures, alors que le modèle de la simulation a un temps moyen de 2,87 heures. La simulation a donc un temps moyen en file moins élevé que dans l'historique des données d'arrivée. La différence représente environ 14% du temps réel d'attente. Le temps minimal et le temps maximal passé en file d'attente ont aussi été comparés entre le modèle de simulation et les données historiques. L'absence de différence importante confirme la validité du modèle. Cependant, puisque cette mesure ne considère pas la prise de décision du centre de distribution en fonction du rendez-vous, nous nous sommes plutôt intéressés au second groupe de mesures de performance qui visent à évaluer la capacité du CD à respecter l'heure de rendez-vous, selon l'arrivée du fournisseur. Ces nouvelles mesures prennent en compte l'écart de début de déchargement, c'est-à-dire le temps entre le début du déchargement et l'heure de rendez-vous, plutôt que le temps moyen en file d'attente. Ainsi, la mesure n'est pas biaisée par une remorque qui arrive très à l'avance. Le centre de distribution n'a pas à décharger les remorques dès leur arrivée si leur rendez-vous est plus tard.

Pour représenter la situation le plus fidèlement possible, nous nous sommes assurés que le modèle traite prioritairement les bons de commande qui sont arrivés à l'heure pour leur rendez-vous, ensuite ceux en retard, puis finalement les bons de commande dont la remorque n'a pas de chauffeur en attente. Les mesures ont donc été enregistrées pour ces

trois groupes. Selon les données historiques, l'écart entre le temps d'arrivée du fournisseur et le début du déchargement des bons de commande sans chauffeur en attente est de 7,85 heures. Dans la simulation, ces bons de commande sont immobiles pendant environ 8,72 heures, une différence de moins d'une heure. Ainsi, on peut affirmer que le modèle de la simulation priorise moins les bons de commande sans chauffeur en attente comparativement à la réalité. En effet, selon la connaissance de l'auteure, dans la réalité opérationnelle de l'entreprise, il s'agit de la principale règle de priorisation des bons de commande. L'entreprise préfère décharger un bon de commande qui a un chauffeur en attente plutôt que l'inverse, même si la remorque disponible est en avance. Pour représenter ce phénomène, nous avons dû attribuer une priorité très basse à tous les bons de commande sans chauffeur en attente. Or, dans la réalité, bien que ce soit la règle privilégiée, certains gestionnaires n'appliquent pas toujours cette règle.

Ensuite, nous nous sommes intéressés aux bons de commande qui ont un chauffeur en attente. Parmi ceux-ci, lorsque les fournisseurs ne respectent pas leur rendez-vous, le comportement historique du centre de distribution est de les faire patienter plus longtemps que ceux respectant leur rendez-vous. L'écart de déchargement se calcule différemment selon le comportement du fournisseur. Lorsque le fournisseur arrive en retard, l'écart de début de déchargement est la différence entre le début du déchargement et l'arrivée. Ainsi, l'écart de début de déchargement des bons de commande arrivés en retard est de 2,46 heures, alors que dans la simulation, elle est de 2,34 heures. Cette différence d'environ 7 minutes justifie bien la fidélité de la représentation du comportement lorsque les fournisseurs arrivent en retard. À l'inverse, lorsque les fournisseurs respectent leur rendez-vous, l'écart de début de déchargement est la différence entre le début du déchargement et le rendez-vous. Contrairement au premier indicateur qui mesure la file d'attente globale, celui-ci mesure le comportement du centre de distribution à bien respecter le rendez-vous. Cet indicateur est donc beaucoup plus pertinent pour assurer la validité du modèle de simulation. Selon l'historique des données, les bons de commande qui ont un chauffeur en attente et qui ont respecté leur rendez-vous attendent en moyenne 0,36 heure, soit près de 22 minutes, alors que dans la simulation, ces bons de commande attendent en moyenne 0,01 heure, soit 1 minute. Cela démontre que le modèle de simulation privilégie des bons de commande en avance, mais ayant un chauffeur en

attente, plutôt qu'une remorque sans chauffeur en attente. Cette différence de 21 minutes peut aussi être expliquée par la priorité très basse accordée aux bons de commande sans chauffeur, ce qui correspond à la situation privilégiée par Metro, mais qui n'est peut-être pas appliquée constamment par tous les gestionnaires.

Enfin, étant donné que la proportion de bons de commande respectant leur rendez-vous représente 60% du total des bons de commande déchargés, nous nous sommes assurés que le comportement du centre de distribution, à la suite de l'arrivée de ces fournisseurs, soit bien reproduit dans le modèle de la simulation. Le tableau 25 présente les résultats de la validation du modèle de simulation en fonction de la proportion et de l'écart de début de déchargement moyen des bons de commande respectant le rendez-vous selon trois situations possibles du centre de distribution. Premièrement, lorsque le centre de distribution effectue le déchargement en respectant l'heure du rendez-vous. Deuxièmement, lorsque le centre de distribution effectue le déchargement dans l'heure suivant le rendez-vous. Troisièmement, lorsque le centre de distribution effectue le déchargement plus d'une heure après le rendez-vous.

Tableau 25 : Deuxième partie de la validation du modèle de simulation

		Validation de la proportion des bons de commande		
		1	2	3
Historique 2015-2017	Proportion	<b>52%</b>	<b>15%</b>	<b>33%</b>
	Temps d'attente moyen	-1.28	0.6	2.83
Simulation	Proportion	<b>55%</b>	<b>7%</b>	<b>38%</b>
	Temps d'attente moyen	-2	0.64	2.79
Différence	Proportion	-3%	8%	-5%
	Temps d'attente moyen	0.72	-0.04	0.04

Le temps d'attente moyen des bons de commande qui ont respecté leur rendez-vous est supérieur de 21 minutes. Cela étant dit, la simulation a pour but de reproduire une prise de décision. La proportion des trois variables identifiées ci-haut permet de confirmer que le modèle décharge sensiblement la même proportion de bons de commande selon l'écart d'arrivée du fournisseur. En effet, notre modèle assure le déchargement de 55% des bons

de commande dans l'heure prévue, comparativement à 52% selon l'historique. Toutefois, nous pouvons remarquer que le modèle réussit à décharger moins de bons de commande dans l'heure suivant le rendez-vous, mais davantage plus d'une heure après le rendez-vous. La proportion des déchargements en retard lorsque les fournisseurs respectent leur rendez-vous est donc similaire. Les temps d'attente moyen des deuxièmes et troisièmes situations sont très similaires entre les données historiques et les résultats de la simulation, d'autant plus qu'ils s'équilibrent. De façon générale, les résultats de la prise de décision sont assez semblables entre l'historique et le modèle de simulation.

Bref, le temps d'attente moyen et la proportion des bons de commande déchargés selon les trois situations sont similaires à la réalité. En fonction de cela, nous présumons que la prise de décision des gestionnaires est bien représentée dans le modèle de la situation. Nous soulignons le fait que le modèle surestime l'écart de début de déchargement des bons de commande sans chauffeur en attente et sous-estime l'écart de début de déchargement des bons de commande arrivés à l'heure. Nous tiendrons compte de cette mise en garde dans l'interprétation des résultats.



## **Chapitre 7**

# **L'expérimentation**

L'utilisation de la simulation comme méthodologie de recherche nous permet de simuler des événements dans un modèle qui s'apparente à une réalité opérationnelle. Suivant la méthodologie évoquée au chapitre 3, une fois le modèle vérifié et validé, l'expérimentation permet d'introduire des scénarios et d'analyser l'impact de ces changements sur les mesures de performance du processus. Le cadre expérimental permet d'assurer le bon déroulement de l'expérimentation. On y décrit la durée de la simulation, le nombre de répliques et la sélection des scénarios. Ensuite, nous présentons les résultats générés ainsi que la discussion autour de ces résultats.

### **7.1 Cadre expérimental**

Le cadre expérimental décrit le déroulement et les règles de l'expérimentation. Nous allons d'abord élaborer les méthodes utilisées pour générer les résultats et ensuite présenter les scénarios.

#### **7.1.1 Paramètres de l'expérimentation**

Pour commencer, il est important de rappeler qu'une analyse statistique a été effectuée au chapitre 5 afin d'identifier les facteurs ayant une influence sur le comportement des acteurs et afin de déterminer la distribution des écarts de comportement des fournisseurs et du centre de distribution. Ces distributions ont, entre autres, permis de générer les données manquantes pour certains bons de commande. La liste de bons de commande utilisée prend en compte des données sur une période de deux ans, soit plus de 17 000 heures. Dans le cadre de l'expérimentation, la durée de la simulation est de 16 800 heures, soit 700 jours, tout près de deux ans. Le processus de réception de remorques du centre de distribution étudié a lieu 24h/24. Il n'a donc pas réellement de début, ni de fin. Les bons de commande qui n'ont pas été déchargés à un jour donné se retrouvent toujours dans le système lorsque la journée suivante commence et ainsi de suite. Nous avons donc imposé une période de réchauffement d'une semaine, soit 168 heures au simulateur. Cette période exécute la simulation, mais ne comptabilise pas les résultats. Cela nous assure que

la récolte des résultats s'effectue seulement lorsque le processus se comporte normalement. Pour les mêmes raisons, nous arrêtons volontairement la prise de résultats après 16 800 heures, soit 72 heures avant la dernière donnée récoltée. Nous obtenons une simulation de près de deux ans, sans être biaisée par un début ou une fin.

Une autre décision importante prise lors du développement du cadre expérimental est le nombre de réplifications. Il est important de rappeler que l'ensemble des valeurs associées au temps d'arrivée des remorques et au temps de déchargement sont lues à partir du fichier de données externes plutôt que générer de manière aléatoire dans le moteur de la simulation. Lors des étapes de vérification et de validation, les données historiques, c'est-à-dire, les valeurs réelles enregistrées ont été utilisées. Toutefois lorsque les scénarios créés impliquent une composante aléatoire, plusieurs réplifications doivent être effectuées. En effet, nous voulons éviter qu'un comportement aléatoire favorable ou défavorable influence l'analyse des résultats. Dans notre cas, pour suivre la logique présentée précédemment, les différents scénarios sont créés à l'externe. Chaque scénario correspond à une feuille de données. Cela permet de faire varier un seul élément à la fois. Il s'agit aussi d'une technique de réduction de la variance utilisée fréquemment en simulation (Law et Kelton, 2000) et qui permet de trouver de petits intervalles de confiance avec un plus petit nombre de réplifications. Des tests préliminaires nous ont permis de fixer le nombre de réplifications à dix par scénario. De plus, la longue durée de la simulation permet de réduire l'impact de comportements aléatoires. Les dix réplifications produiront une estimation de l'intervalle de confiance autour d'une moyenne. Finalement, les scénarios qui n'impliquent pas de donnée aléatoire sont répliqués qu'une seule fois, de manière similaire à ce qui a été fait lors de la validation.

### **7.1.2 Descriptions des scénarios**

Dans cette étude, les scénarios étudiés sont générés de deux façons, soit en faisant varier les données d'entrée ou en faisant varier les règles de décision, soit la gestion de la file d'attente. Pour commencer, en ce qui concerne les données d'entrée, nous allons changer le temps d'arrivée des fournisseurs en fonction des facteurs analysés dans le traitement statistique du chapitre 5. Cela a pour but de vérifier comment se comporte le processus de réception de remorques en changeant le comportement d'arrivée des fournisseurs. La

deuxième partie de l'expérimentation vise à évaluer l'impact des règles de décision du centre de distribution sur les mesures de performance du processus. Dans ce cas, les données historiques seront utilisées (aucune variable aléatoire), mais ce sont les règles de décision qui varient d'un scénario à l'autre. Finalement, la troisième partie de l'expérimentation cherche à quantifier l'impact d'une variation du temps de déchargement sur les mesures de performance. Les prochaines sections présentent les scénarios utilisés dans l'expérimentation en fonction des trois objectifs distincts énumérés ci-haut.

### 7.1.2.1 Partie 1 - Scénarios faisant varier les temps d'arrivée

Le seul élément sur lequel le fournisseur a une influence est son temps d'arrivée. Bien qu'il soit sujet à des variations hors de son contrôle, telles que la météo ou la circulation, c'est la responsabilité du fournisseur de s'assurer d'être à l'heure à son rendez-vous. En fait, dans un contexte d'horaire de rendez-vous, le principal comportement qui peut être reproché aux fournisseurs est le fait d'arriver en retard. Ainsi, en nous basant sur les résultats de l'analyse statistique du chapitre 5, nous avons développé neuf scénarios faisant varier, selon une distribution donnée, les retards d'arrivée des fournisseurs. Le tableau 26 présente ces scénarios.

Tableau 26 : Descriptions des scénarios en lien avec les temps d'arrivée des fournisseurs

Scénario	Description
S1	Réduction des grands retards des fournisseurs B et C;
S2	Réduction des grands retards sur le quart de travail de nuit;
S3	Réduction des grands retards des bons de commande ayant plus de 30 palettes;
S4	Réduction des grands retards le dimanche;
S5	Réduction des grands retards durant le mois d'avril;
S6	Réduction des grands retards de tous les fournisseurs;
S7	Réduction de tous les retards des fournisseurs;
S8	Augmentation des petits retards de tous les fournisseurs;
S9	Augmentation des retards de tous les fournisseurs.

Les scénarios 1 à 7 visent essentiellement à réduire les grands retards des fournisseurs, puisque ce sont ces comportements qui affectent le plus l'horaire planifié. Ainsi, en se référant à la section 2.4 du chapitre 2, l'imposition de pénalités monétaires est une pratique utilisée par de grandes entreprises afin d'inciter les fournisseurs à respecter leur

rendez-vous. Chaque scénario est donc issu d'un changement anticipé à la suite de l'imposition d'une pénalité à des groupes ciblés de fournisseurs. Notre hypothèse est que l'objectif des fournisseurs est d'éviter de payer une pénalité. L'écart entre leur heure d'arrivée et le rendez-vous devrait donc réduire. Pour simuler ce changement de comportement, une nouvelle valeur du temps d'arrivée correspond à la valeur réelle associée au bon de commande, déterminée à partir des données historiques à laquelle on soustrait une certaine valeur correspondant à la réduction du retard. Étant donné que la variable dépendante initiale, soit l'écart d'arrivée de tous les fournisseurs, suit une loi normale, la création des scénarios suit cette même loi. Ainsi, la réduction du retard suit une distribution normale ayant comme moyenne l'écart d'arrivée moyen du groupe ciblé et comme écart-type, l'écart-type de l'écart d'arrivée du groupe ciblé.

$$\mathbf{H' = H - R}$$

où  $H'$  = Heure d'arrivée modifiée;

$H$  = Heure d'arrivée initiale;

$R$  = Réduction du retard  $\sim N(X, Y)$ ;

$X$  = Moyenne de l'écart d'arrivée du groupe ciblé;

$Y$  = Écart-type de l'écart d'arrivée du groupe ciblé.

La nouvelle valeur du temps d'arrivée correspond alors à la valeur qui était associée à ce bon de commande en réalité à laquelle on soustrait la valeur de l'écart obtenue précédemment. Certains fournisseurs arriveront plus tôt que le rendez-vous et certains seront en retard, malgré la pénalité. Un exemple est présenté au premier scénario. Les scénarios 8 et 9 testent quant à eux l'effet d'une augmentation des retards sur la performance du système. Nous appliquons la même logique, excepté que l'augmentation du retard sera additionnée au temps d'arrivée initial. Nous tentons ainsi de comprendre ce qui arriverait si la situation se dégrade.

S1 – Le premier scénario vise à réduire les grands retards des fournisseurs de type B et C. Notre hypothèse est que l'imposition d'une pénalité monétaire pour non-respect du rendez-vous réduit les grands retards des fournisseurs B et C. En effet, selon l'analyse

statistique, ces fournisseurs occasionnels ont un retard plus important et significativement différent de celui des fournisseurs A comme illustré au tableau 27. Cela signifie qu'en situation de grands retards, l'écart entre l'heure de rendez-vous et l'arrivée du fournisseur est plus grand chez les fournisseurs B et C que les A. Dans ce scénario, la réduction du retard est générée selon une distribution normale de moyenne 3,78 heures et d'écart-type 4,14 heures.

Tableau 27 : Écart d'arrivée lors de grands retards selon le type de fournisseur

Type fournisseur	Moyenne	Écart-type
A	3,32	3,83
B et C	3,70	4,14

Par exemple, un fournisseur B qui a un rendez-vous à 8h30 et qui arrive à 10h30 présente un écart d'arrivée de deux heures. Selon ce premier scénario, étant donné que c'est un fournisseur B et que son écart d'arrivée est supérieur à une heure, la réduction du retard est générée selon une distribution normale ayant comme moyenne 3,70 et comme écart-type 4,14. Si la valeur générée est 0,5 heure, cela signifie que la nouvelle valeur du temps d'arrivée de ce bon de commande est 10h00, soit 30 minutes avant son heure d'arrivée initiale. Le fournisseur serait donc encore en retard. À l'inverse, si la valeur générée aléatoirement est 6 heures, la nouvelle valeur du temps d'arrivée de ce bon de commande est 4h00. Dans ce cas, le fournisseur serait maintenant à l'avance. Le même calcul est effectué pour les six prochains scénarios. Les scénarios 8 et 9, quant à eux, additionnent la valeur générée aléatoirement car ils visent à tester une augmentation du retard plutôt qu'une réduction.

S2 – Le deuxième scénario vise à réduire les grands retards sur le quart de travail de nuit. En effet, l'analyse statistique a démontré que l'écart d'arrivée moyen lors de grands retards est plus élevé sur le quart de travail de nuit comme illustré au tableau 28. Nous posons l'hypothèse que l'imposition d'une pénalité réduit le retard des bons de commande présentant un retard de plus d'une heure et qui ont un rendez-vous sur le quart de nuit. Dans ce scénario, la réduction du retard est générée aléatoirement selon une distribution normale dont la moyenne est 3,66 heures et l'écart-type est 3,06 heures.

Tableau 28 : Écart d'arrivée lors de grands retards selon le quart de travail du rendez-vous

Quart de travail	Moyenne	Écart-type
Jour et Soir	3,48	4,01
Nuit	3,66	3,06

S3 - Le troisième scénario vise à réduire le grand retard des bons de commande ayant plus de 30 palettes. L'analyse statistique du chapitre 5, les quatre catégories du nombre de palettes sont significativement différentes. Ainsi, ce scénario vise les deux catégories supérieures présentées au tableau 29. Dans ce scénario, deux valeurs sont générées aléatoirement. La réduction de retard des bons de commande contenant 31 à 45 palettes et présentant un grand retard est générée selon une distribution normale dont la moyenne est 3,97 heures et l'écart-type est 4,71 heures. La réduction de retard des bons de commande contenant plus de 45 palettes et présentant un grand retard est, quant à elle, générée dans une distribution dont la moyenne est 5,05 heures et l'écart-type est 5,72 heures.

Tableau 29 : Écart d'arrivée lors de grands retards selon le nombre de palettes du bon de commande

Nombre de palettes	Moyenne	Écart-type
[1, 15]	3,18	3,56
[16, 30]	3,70	4,08
[31, 45]	3,97	4,71
[46, ∞[	5,05	5,72

S4 – Le quatrième scénario vise à réduire les grands retards des bons de commande planifiés le dimanche, par l'imposition d'une pénalité si l'écart d'arrivée est plus grand qu'une heure. Il a été démontré au chapitre 5 que l'écart moyen d'arrivée lors de grands retards est significativement plus élevé le dimanche. Ainsi, dans ce scénario présenté au tableau 30, la nouvelle valeur de l'écart est pigée aléatoirement dans une distribution dont la moyenne est 5,33 heures et l'écart-type est 6,88 heures.

Tableau 30 : Écart d'arrivée lors de grands retards selon le jour de la semaine

Jour de la semaine	Moyenne	Écart-type
Dimanche	5,33	6,88
Lundi à samedi	3,39	3,49

S5 – Le cinquième scénario vise à réduire les grands retards des bons de commande planifiés en avril. En effet, les analyses statistiques ont démontré que les bons de commande dont le rendez-vous est durant le mois d'avril et de septembre sont significativement différents du reste de l'année lors de grands retards. Tel qu'illustré au tableau 31, le mois d'avril est particulièrement affecté par les grands retards, présentant un écart moyen plus élevé. Dans ce scénario, la réduction de retard est générée aléatoirement selon une distribution normale dont la moyenne est 4,06 heures et l'écart-type est 4,38 heures.

Tableau 31 : Écart d'arrivée lors de grands retards selon le mois de l'année

Mois	Moyenne	Écart-type
Avril	4,06	4,38
Septembre	2,78	2,84
Mai à août et octobre à mars	3,51	4,02

Les quatre prochains scénarios que nous proposons impliquent un changement de comportement des fournisseurs de façon globale. Aucun attribut particulier n'est ciblé dans ce cas. Le tableau 32 présente la moyenne et l'écart-type de l'écart d'arrivée selon le comportement du fournisseur.

Tableau 32 : Écart d'arrivée global en fonction du rendez-vous

Comportement du fournisseur	Moyenne	Écart-type
Respect du rendez-vous	-2,34	3,00
Un peu de retard	0,39	0,28
Beaucoup de retard	3,22	3,98

S6 – Le sixième scénario vise à réduire les grands retards des fournisseurs de façon globale. Une pénalité est imposée à tous les fournisseurs qui se présentent au centre de distribution avec plus d'une heure de retard. Cela signifie que pour chaque bon de commande qui présente un grand retard, la réduction du retard est générée aléatoirement selon une distribution normale dont la moyenne est 3,49 heures et l'écart-type est 3,98 heures.

S7 – Le septième scénario vise à réduire à la fois les petits et les grands retards des fournisseurs à la suite de l'imposition d'une pénalité. Ce scénario prend en considération que l'incitatif est assez fort pour changer le comportement des fournisseurs en retard. Deux valeurs sont générées aléatoirement, une pour chaque type de retard. La réduction du retard des bons de commande présentant un retard d'une heure et moins est générée selon une distribution normale dont la moyenne est 0,39 heure et l'écart-type est 0,28 heure. La réduction du retard des bons de commande présentant un retard de plus d'une heure est générée selon une distribution normale dont la moyenne est 3,49 heures et l'écart-type est 3,98 heures.

S8 – Le huitième scénario illustre une situation où le comportement des fournisseurs qui arrivent un peu en retard se détériore. Ce n'est pas le nombre de retards, mais bien l'écart d'arrivée, ou autrement dit le retard, qui augmenterait. Dans ce scénario, l'augmentation du retard des bons de commande présentant un petit retard est générée aléatoirement selon une distribution normale dont la moyenne est 0,39 heure et l'écart-type est 0,28 heure. La nouvelle valeur du temps d'arrivée correspond alors à la valeur réelle associée au bon de commande à laquelle on additionne la valeur générée, correspondant à l'augmentation de l'écart.

S9 – Le neuvième scénario illustre une situation où le comportement des fournisseurs qui présentent des petits et grands retards se détériore. Ainsi, deux valeurs sont générées aléatoirement. L'augmentation du retard des bons de commande présentant un petit retard est générée aléatoirement selon une distribution normale dont la moyenne est 0,39 heure et l'écart-type est 0,28 heure. L'augmentation du retard des bons de commande présentant un grand retard est générée aléatoirement selon une distribution normale dont la moyenne

est 3,49 heures et l'écart-type est 3,98 heures. Ces valeurs sont additionnées au temps d'arrivée initial.

### **7.1.2.2 Scénarios faisant varier les règles de priorisation**

La seconde partie de l'expérimentation a pour but de tester différentes règles de priorisation des bons de commande. Le fichier de données d'entrée utilisé lors de la seconde phase d'expérimentation correspond aux données historiques telles qu'utilisées lors de la validation. Il n'y a donc pas de composantes aléatoires, seul les règles de gestion de la file d'attente sont sujettes à des changements. Ainsi, nous ne présenterons pas les intervalles de confiance, puisqu'une seule réplication est possible. Il est important de noter que les règles de priorisation étudiées aux scénarios 10 à 37 n'utilisent qu'un attribut à la fois. À la suite des résultats préliminaires, nous sélectionnerons certains scénarios qui seront combinés à l'ensemble des scénarios 10 à 37.

En nous basant sur les conclusions des analyses statistiques et la connaissance de l'auteure des règles de priorisation en place, nous avons développé 28 nouveaux scénarios, présentés au tableau 33. Ces règles utilisent différents attributs afin d'établir la priorité. La combinaison des scénarios correspond donc à la combinaison de plusieurs attributs. En modifiant la gestion de la file d'attente, nous souhaitons réduire le temps d'attente moyen des chauffeurs en file et surtout réduire le nombre de bons de commande arrivés à l'heure, mais qui ne sont pas déchargés en respectant leur rendez-vous. En effet, il est souhaitable que le centre de distribution soit en mesure de décharger les bons de commande arrivés à l'heure afin d'encourager ce bon comportement des fournisseurs et suivre le plus fidèlement l'horaire planifié. Finalement, si le centre de distribution souhaite imposer des pénalités monétaires aux fournisseurs arrivés en retard, il doit être en mesure de respecter le rendez-vous de ceux arrivés à l'heure. Les différents scénarios sont décrits plus bas.

Tableau 33 : Descriptions des scénarios en lien avec les règles de priorisation

Scénario	Description
S10	Prioriser les bons de commande ayant un type de dépilage 1 – Aucune dépilage;
S11	Prioriser les bons de commande ayant un type de dépilage 2 – Un peu de dépilage;
S12	Prioriser les bons de commande ayant un type de dépilage 3 – Beaucoup de dépilage;
S13	Prioriser les bons de commande ayant un type de dépilage 1 ou 2;
S14	Prioriser les bons de commande ayant un type de dépilage 2 ou 3;
S15	Prioriser les bons de commande ayant un type de dépilage 1 ou 3;
S16	Prioriser les bons de commande ayant un nombre de palettes inférieur à 16;
S17	Prioriser les bons de commande ayant un nombre de palettes supérieur à 15 et inférieur à 31;
S18	Prioriser les bons de commande ayant un nombre de palettes supérieur à 30;
S19	Prioriser les bons de commande ayant un nombre de palettes supérieur à 15;
S20	Ne pas prioriser les bons de commande arrivés en retard sur le quart de nuit;
S21	Prioriser les bons de commande des fournisseurs C;
S22	Prioriser les bons de commande arrivant d’avance le dimanche;
S23	Ne pas prioriser les bons de commande en retard le dimanche;
S24	Prioriser les bons de commande dont le fournisseur a un historique d’arrivée <i>En avance</i> ;
S25	Prioriser les bons de commande dont le fournisseur a un historique d’arrivée <i>En avance, Petits retards occasionnels</i> ou <i>Grands retards occasionnels</i> ;
S26	Prioriser les bons de commande dont le fournisseur a un historique d’arrivée <i>En avance, Petits retards occasionnels</i> ou <i>Petits retards récurrents</i> ;
S27	Prioriser les bons de commande dont le fournisseur a un historique d’arrivée <i>En avance</i> et <i>Petits retards occasionnels</i> ;
S28	Prioriser les bons de commande ayant un chauffeur en attente;
S29	Prioriser les bons de commande qui sont arrivés à l’avance;
S30	Prioriser les bons de commande qui sont arrivés à l’avance ou une heure en retard et moins;
S31	Prioriser les bons de commande qui sont arrivés en retard, mais un maximum d’une heure;
S32	Prioriser les bons de commande dans l’ordre suivant : <i>En avance, Petit retard</i> et <i>Grand retard</i> ;
S33	Prioriser les bons de commande dans l’ordre suivant : <i>Petit retard, En avance</i> et <i>Grand retard</i> ;
S34	Prioriser les bons de commande dans l’ordre suivant : <i>Un peu à l’avance (max 30 min.)</i> , <i>En avance, Petit retard</i> et <i>Grand retard</i> ;
S35	Prioriser les bons de commande dans l’ordre suivant : <i>Un peu à l’avance (max 30 min.)</i> , <i>Petit retard, En avance</i> et <i>Grand retard</i> ;
S36	Prioriser les bons de commande dans l’ordre suivant : <i>Un peu à l’avance (max 15 min.)</i> , <i>En avance, Petit retard</i> et <i>Grand retard</i> ;
S37	Prioriser les bons de commande dans l’ordre suivant : <i>Un peu à l’avance (max 60 min.)</i> , <i>En avance, Petit retard</i> et <i>Grand retard</i> ;

#### S10 à S15 – Type de dépilage

L'analyse statistique effectuée au chapitre 5 nous permet de conclure que le type de dépilage d'un bon de commande a un impact significatif sur l'écart de début de déchargement lorsque les fournisseurs et le CD respectent le rendez-vous. De plus, les bons de commande avec un type de dépilage 2 sont moins favorisés par rapport au type de dépilage 1 et 3 lorsque le fournisseur est à l'heure et que le début du déchargement se fait dans l'heure suivant le rendez-vous. Étant donné que le type de dépilage est un indicateur de la difficulté de déchargement d'un bon de commande, il a une incidence sur le temps de déchargement. Six scénarios de priorisation selon le type de dépilage seront testés dans la simulation. Un scénario priorisant chaque type de dépilage individuellement ainsi que trois autres priorisant la combinaison de deux types de dépilage.

#### S16 à S19 – Nombre de palettes

L'analyse statistique nous permet de conclure que, peu importe le comportement du fournisseur, qu'il soit à l'heure ou en retard, lorsque le centre de distribution n'est pas en mesure de décharger un bon de commande dans l'heure suivant le rendez-vous, le gestionnaire favorise les bons de commande avec très peu de palettes. Étant donné que le nombre de palettes est aussi un indicateur qui influence le temps de déchargement, un plus faible temps de déchargement associé à ce groupe de bons de commande incite les gestionnaires à les prioriser. Le septième scénario illustre donc ce comportement. Les trois autres scénarios analysés qui prennent en compte cet attribut priorisent un nombre de palettes moyen, élevé ou une combinaison de ces deux dernières catégories.

#### S20 et S21 – Quart de travail

À la suite de l'analyse statistique de l'écart de début du déchargement en fonction du quart de travail, il est possible de constater que lorsque le fournisseur respecte son rendez-vous ou est très en retard et que le centre de distribution est dans l'incapacité de décharger dans l'heure suivant l'arrivée du fournisseur, le quart de nuit est celui où l'écart de début de déchargement est le plus élevé, suivi de celui de soir et ensuite celui de jour. Nous avons posé l'hypothèse que le nombre de ressources élevé sur le quart de jour permet de décharger des remorques arrivées en retard plus rapidement comparativement aux autres

quarts. La différence est particulièrement grande sur le quart de nuit lorsque le fournisseur respecte son rendez-vous. L'ajout de ressources sur ce quart de travail aurait donc pu être envisagé. Par contre, l'analyse statistique montre que l'écart moyen de début de déchargement est plus petit pour les fournisseurs qui arrivent à l'avance sur le quart de nuit. Ainsi, le scénario que nous avons choisi de tester est celui représentant cette situation. En effet, le scénario est construit de manière à ne pas prioriser les bons de commande arrivés en retard sur le quart de nuit. Ces derniers auront donc une priorité plus basse que le reste des bons de commande. De plus, dans la section 5.4 du chapitre 5, nous avons présenté des corrélations entre les attributs. L'une de celles-ci démontre que la proportion de fournisseurs C est moins élevée sur le quart de jour. Étant donné que le quart de jour se distingue par des écarts de début de déchargement moins grands, le second scénario analysé en lien avec le quart de travail vise à prioriser les fournisseurs C, puisqu'ils sont proportionnellement moins élevés sur le quart de jour.

#### S22 et S23 – Jour de la semaine

L'analyse statistique nous permet de conclure que la fin de semaine et principalement le dimanche, le centre de distribution est plus susceptible de faire attendre longtemps des fournisseurs, c'est-à-dire que l'écart de début de déchargement est significativement plus grand que le reste de la semaine. Par opposition, le lundi est la journée, qui de façon générale, a les écarts de début de déchargement les plus faibles. Ainsi, les deux scénarios proposés visent les bons de commande arrivant le dimanche. Le premier priorise les bons de commande qui arrivent d'avance le dimanche, alors que le second ne priorise pas les bons de commande qui arrivent en retard le dimanche. Ils auront donc une priorité plus basse que le reste des bons de commande.

Malgré la différence significative de certains mois de l'année sur l'écart de déchargement, aucun scénario ne sera considéré. Le but de l'expérimentation n'est pas de modifier l'horaire, mais plutôt de vérifier l'impact des règles de priorisation sur les mesures de performance. Or, pour équilibrer l'écart de début de déchargement en fonction des mois de l'année, l'ajout de ressources ou le déplacement de certains rendez-vous semblent être les seules options envisageables. Ceux-ci ne sont pas considérés dans le présent mémoire. Les prochains attributs considérés dans les règles de priorisation n'ont pas été analysés

dans le chapitre 5, mais sont des éléments pertinents à la prise de décision de priorisation d'une remorque. En effet, selon l'expérience de l'auteur, nous supposons que, la gestion de la file d'attente actuelle de Metro tient en compte plusieurs éléments dont le comportement habituel du fournisseur, la présence d'un chauffeur en attente et l'écart d'arrivée du fournisseur pour ce bon de commande.

#### S24 à S27 – Habitudes d'arrivée du fournisseur

La décision de prioriser ou non le déchargement d'une remorque est prise par les gestionnaires quotidiennement et de façon répétée. Selon l'expérience de l'auteure, malgré les centaines de fournisseurs qui passent par le centre de distribution annuellement, les gestionnaires connaissent assez bien le comportement habituel d'arrivée de plusieurs fournisseurs. Nous posons l'hypothèse qu'un gestionnaire favorise les fournisseurs qui ont l'habitude d'être à l'heure et inversement, ne priorise pas les fournisseurs qui ont l'habitude d'être en retard, et ce peu importe le statut actuel de son arrivée. Ainsi, nous avons créé un nouvel attribut qui identifie le comportement habituel du fournisseur. La démarche de cette catégorisation des comportements habituels des fournisseurs est détaillée à la section 5.5 du chapitre 5 et présentée au tableau 34 de ce chapitre. Les scénarios 24 à 27 priorisent donc certains fournisseurs de ces groupes spécifiques.

Tableau 34 : Catégorisation individuelle du comportement habituel des fournisseurs

Catégorie	En avance	Petits retards occasionnels	Petits retards récurrents	Grands retards occasionnels	Grands retards récurrents
Nombre de fournisseurs	48	77	46	63	74
Proportion	16%	25%	15%	20%	24%

## S28 – Chauffeur en attente

Une des particularités de certains centres de distribution est la présence de bons de commande sans chauffeur en attente. Que ce soit l'entreprise elle-même qui s'occupe du transport entrant ou en raison d'une entente particulière, certains fournisseurs ont la permission de laisser une remorque à décharger sur le site du centre de distribution sans un chauffeur en attente. Ainsi, le centre de distribution a la flexibilité de décharger ces bons de commande au moment opportun. Selon la connaissance de l'auteure, la priorisation d'une remorque avec un chauffeur est une règle de priorisation importante. Ainsi, le scénario 28 de cette seconde partie de l'expérimentation priorise les bons de commande avec un chauffeur en attente.

## S29 à S37 – Écart d'arrivée du fournisseur

Finale­ment, les huit derniers scénarios présentent des règles de priorisation en fonction de l'arrivée actuelle du fournisseur. Dans l'analyse statistique, l'écart de début de déchargement est divisé en fonction du comportement du centre de distribution, mais aussi en fonction de celui du fournisseur. L'écart d'arrivée du fournisseur est catégo­risé en trois situations: *Respect du rendez-vous*, *Un peu de retard* et *Beaucoup de retard*. Dans un contexte d'un horaire de rendez-vous, le respect du rendez-vous par le fournisseur est sans aucun doute un aspect important de la gestion de la file d'attente. Ainsi, les scénarios 29 à 37 considèrent ces trois catégories, afin de prioriser les bons de commande. Par contre, un effet pervers de ce type de règles est, par exemple, qu'en priorisant les remorques arrivées à l'avance, le centre de distribution privilégie également une remorque qui a plusieurs heures d'avance par rapport à son rendez-vous qu'une remorque arrivant quelques minutes à l'avance. La catégorie *Un peu à l'avance* a été créée afin de les distinguer dans la prise de décision. Des intervalles de 15, 30 et 60 minutes entre l'arrivée et le rendez-vous seront considérés pour catégo­riser des bons de commande *Un peu à l'avance*.

### 7.1.2.3 Scénario faisant varier les temps de déchargement planifié

Tel qu'expliqué dans la section 5.3.3 du chapitre 5, il y a deux sources possibles de l'écart entre le temps de déchargement planifié et le temps réel de déchargement: une mauvaise

précision du calcul de temps de déchargement planifié ou une productivité plus faible des ressources. La révision du calcul n'étant pas l'objectif de ce mémoire, la variation de la productivité des employés est le seul élément pouvant être analysé.

La troisième phase d'expérimentation vise à faire varier la productivité des employés dans le but de vérifier l'impact de l'augmentation de la productivité dans certaines circonstances particulières sur l'efficacité du processus. L'analyse du chapitre 5 a permis de conclure que le quart de travail est le seul attribut qui présente une différence significative quand on s'intéresse à l'écart du temps de déchargement. Selon le traitement statistique, lorsque le temps de déchargement réel est supérieur au temps de déchargement prévu, l'écart sur le quart de soir et de nuit est significativement différent de celui de jour. En d'autres termes, ils prennent en moyenne plus de temps que sur le quart de jour. Cela est plausible étant donné que les employés avec plus d'expérience préfèrent en majorité travailler sur le quart de jour. Une compensation monétaire pourrait influencer les employés habituellement de jour à travailler sur le quart de soir ou de nuit et une formation additionnelle aux employés du quart de soir et de nuit pourrait engendrer une réduction du temps de déchargement des remorques qui prennent plus de temps que prévu. Nous croyons que ces mesures réduiront seulement le temps de déchargement des remorques qui prennent actuellement plus de temps que prévu, mais pas ceux qu'ils prennent moins de temps que la planification.

Ainsi, le seul scénario variant le temps de déchargement vise à réduire le temps de déchargement lorsque ce dernier est supérieur au temps prévu sur le quart de soir et de nuit. Le tableau 35 présente les moyennes et les écarts-types utilisés pour générer la valeur de la réduction du temps de déchargement. Malgré une différence entre les quarts de travail de seulement 0,12 heure, soit environ 7 minutes, ce scénario affecte plus de 30% des bons de commande des quarts de soir et de nuit.

Tableau 35 : Écart de déchargement lorsque le temps prévu n'est pas respecté, en fonction du quart de travail

Variable	Quart de travail	Moyenne	Écart-type
Non-respect du temps prévu	Jour	0.38	0.46
	Soir et nuit	0.50	0.59

Dans ce scénario, la réduction du temps de déchargement est générée aléatoirement selon une distribution normale dont la moyenne est 0,50 heure et l'écart-type est 0,59 heure. Le temps de déchargement modifié correspond au temps de déchargement initial à laquelle on soustrait la réduction du temps de déchargement.

$$\mathbf{T'} = \mathbf{T} - \mathbf{R}$$

où  $T'$  = Temps de déchargement modifié;

$H$  = Temps de déchargement initial;

$R$  = Réduction du temps de déchargement  $\sim N(X, Y)$ ;

$X$  = Moyenne de l'écart de déchargement du groupe ciblé;

$Y$  = Écart-type de l'écart de déchargement du groupe ciblé.

Dans le cas où la valeur du temps de déchargement modifié est négative, une borne inférieure a été fixée. Nous avons analysé l'effet de différentes bornes inférieures sur le temps de déchargement moyen. Une borne inférieure d'un temps de déchargement entre une et huit minutes ne modifie pas le temps de déchargement moyen et une borne entre neuf et douze minutes augmente de moins d'une minute le temps de déchargement moyen. Considérant que cette différence est relativement petite compte tenu du temps de déchargement moyen de 49 minutes et qu'elle ne touche qu'environ 70 bons de commande, la borne inférieure a été fixée à quatre minutes. Cela est réaliste considérant que la plus petite valeur du temps de déchargement est une minute pour des bons de commande contenant moins de dix palettes et deux minutes pour l'ensemble des bons de commande.

Les trois parties de l'expérimentation sont réalisées indépendamment. Les parties 1 et 3 contiennent des composantes aléatoires ce qui implique la réalisation de dix répliques par scénario afin d'analyser de façon non biaisée les résultats. La particularité de la deuxième partie est qu'une fois analysés individuellement, les scénarios sont combinés afin de réaliser d'autres analyses. La prochaine section présente les résultats de l'analyse.

## 7.2 Résultats

Afin de bien analyser l'impact des scénarios sur le processus de réception des remorques, les résultats sont présentés en trois parties: les scénarios faisant varier les temps d'arrivée, les scénarios touchant les règles de priorisation et les scénarios faisant varier les temps de déchargement. Plusieurs mesures de performances ont été utilisées pour comparer les différents scénarios, certaines plus générales et d'autres spécifiques à des comportements. Dans un premier temps, les scénarios des trois parties de l'expérimentation seront comparés en fonction du temps moyen de la file d'attente des fournisseurs. Cela indique le temps passé sur le site de Metro. Cette information est importante, car plus la file d'attente est longue, plus il y a de fournisseurs en attente et plus leur mécontentement augmente. Un nombre élevé de fournisseurs augmente la probabilité d'avoir plusieurs remorques avec des priorités élevées en file qui dépassent ceux avec des priorités plus basses. Ces bons de commande constamment dépassés par l'arrivée d'une remorque plus urgente créent de grands écarts de début de déchargement. Cette mesure de performance permet donc d'avoir une idée globale de la congestion sur le site et l'état de la file d'attente. La faiblesse de cette mesure est qu'elle ne prend pas en compte l'heure de rendez-vous des bons de commande en attente. Un fournisseur qui arrive très à l'avance allonge cette file d'attente, sans toutefois présenter un retard de la part du centre de distribution. Pour y remédier, nous allons ensuite utiliser une autre mesure de performance qui est l'écart de début de déchargement.

Cette seconde mesure de performance prend en compte le temps d'attente des fournisseurs entre l'heure de leur rendez-vous ou l'heure de leur arrivée et le début du déchargement. Il est important de mentionner que les remorques sans chauffeur en attente ne sont pas considérées dans cette mesure, étant donné que personne ne subit la conséquence d'un non-respect du rendez-vous. En fonction de l'arrivée à l'avance ou en retard du fournisseur, le calcul de l'écart est différent. Si le fournisseur arrive à l'avance, l'écart de début de déchargement tient compte du temps d'attente entre l'heure de rendez-vous et le début du déchargement. À l'inverse, si le fournisseur arrive en retard, l'écart de début de déchargement tient compte du temps d'attente entre l'heure de son arrivée et le début du déchargement. Contrairement à la première mesure, celle-ci peut prendre une valeur

négative. L'écart entre l'heure de rendez-vous et le début de déchargement peut être négatif dans le cas où le fournisseur est arrivé à l'avance et que le centre de distribution débute le déchargement avant l'heure prévue. Cette information est particulièrement utile, car elle illustre la capacité du centre de distribution à respecter les rendez-vous. Plus l'écart de début de déchargement est petit, plus le centre de distribution respecte ses engagements. Afin de mesurer adéquatement le bon comportement du centre de distribution, soit le respect des rendez-vous, la mesure de l'écart de début de déchargement a été effectuée séparément pour les bons de commande sans chauffeur en attente, ceux arrivés à l'heure et ceux arrivés en retard. La faiblesse de cette mesure est qu'un écart de début de déchargement d'une remorque qui est arrivée et déchargée très à l'avance tire l'écart moyen vers le bas. Inversement, une remorque arrivée à l'avance et déchargée très en retard tire l'écart vers le haut, même s'il s'agit d'un seul cas. Puisqu'un grand écart positif pourrait être compensé par un grand écart négatif, il est nécessaire de compléter cette mesure par une autre.

Ainsi, afin de raffiner l'analyse du comportement du centre de distribution lorsque le fournisseur respecte l'heure de son rendez-vous, la troisième mesure de performance utilisée est la proportion des bons de commande arrivés à l'heure et déchargés selon trois situations : à l'heure, dans l'heure suivant le rendez-vous et plus d'une heure après l'heure de rendez-vous. Le comportement attendu du centre de distribution est de décharger à l'heure la plus grande proportion de bons de commande dont le fournisseur est arrivé à l'heure. De plus, selon la connaissance de l'auteure, le mécontentement d'un fournisseur arrivé à l'heure et déchargé dans l'heure suivant son rendez-vous est en moyenne plus faible que celui d'un fournisseur qui est déchargé plus d'une heure après son rendez-vous. Malgré que le déchargement en retard d'un fournisseur par le CD ne soit pas un comportement souhaitable, il est préférable d'avoir une hausse de la proportion de bons de commande déchargés dans l'heure suivant leur rendez-vous que plus d'une heure après celui-ci. La proportion de bons de commande déchargés selon ces trois situations permet de mieux représenter l'impact d'un scénario sur l'efficacité du CD comparativement à la moyenne de l'écart de début de déchargement.

### 7.2.1 Partie 1 – Scénarios sur le temps d’arrivée

La première partie de l’expérimentation vise à varier le temps d’arrivée des fournisseurs en fonction de neuf scénarios et de vérifier l’impact de cette variation sur les mesures de performance du processus de réception de remorques. Lors de la génération de ces scénarios, nous avons posé l’hypothèse que l’imposition d’une pénalité monétaire ou un incitatif peut modifier l’heure d’arrivée des fournisseurs qui présente un grand retard. Ainsi, leur arrivée se rapprocherait de l’arrivée prévue par l’horaire, ou autrement dit, leur retard diminuerait. Les résultats obtenus pour les scénarios 1 à 9 sont présentés à la figure 22. Chaque scénario est illustré par un intervalle de confiance fixé à 95% autour d’une moyenne.

Le premier constat est qu’une réduction des grands retards ne mène pas une réduction du temps moyen passé en file d’attente pour les scénarios 1 à 7. En effet, la figure 22 démontre que pour les sept premiers scénarios, on observe une hausse du temps moyen total passé en file d’attente quand on compare à la situation actuelle. Par exemple, pour le scénario 1, la moyenne est 3,19 heures et un intervalle de confiance de [3,14 ; 3,24] heures. Ce temps d’attente est plus élevé que le temps moyen du modèle initial identifié par la ligne horizontale.

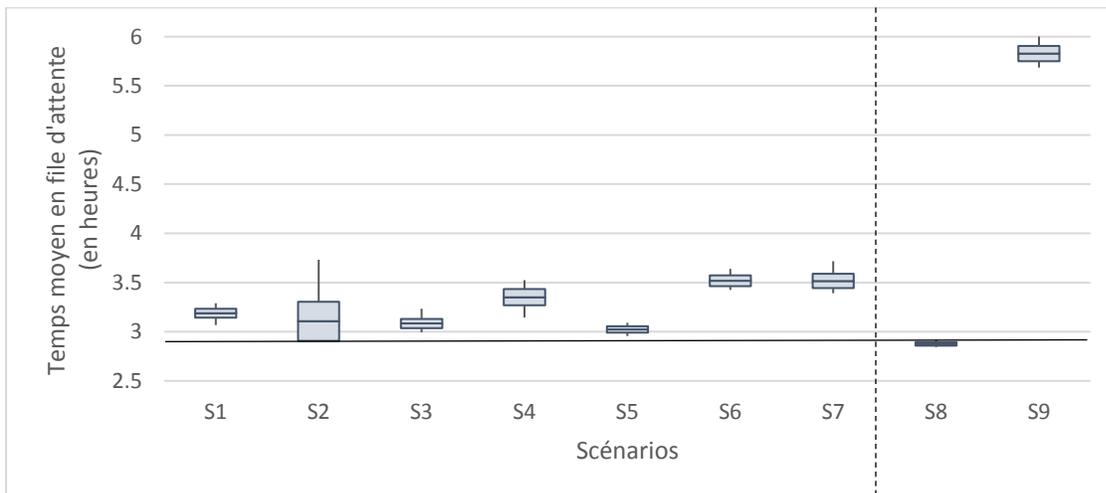


Figure 22 - Temps moyen en file d’attente des fournisseurs en fonction des scénarios 1 à 9

Contrairement aux sept premiers scénarios, les huitième et neuvième scénarios ont pour effet d'augmenter l'heure d'arrivée des fournisseurs, c'est-à-dire d'augmenter le retard. La figure 22 montre une légère réduction du temps d'attente moyen passé en file d'attente au scénario 8 par rapport au modèle initial. Le temps moyen passé en file passe de 2,93 heures à 2,88 heures, une différence de seulement trois minutes. À la suite d'une augmentation des petits retards des fournisseurs, il semble y avoir une légère réduction du temps d'attente ce qui nous laisse présumer que les règles de gestion actuelles ne pénalisent pas une arrivée tardive des fournisseurs présentant des petits retards. À l'opposé, le scénario 9 est particulièrement éloigné des autres avec un temps moyen d'attente de 5,83 heures. Ce scénario a augmenté tous les retards, petits et grands, des fournisseurs. On en conclut qu'une augmentation marquée des retards des fournisseurs augmente drastiquement leur temps d'attente moyen.

Tel que discuté précédemment, le temps d'attente en file ne considère pas l'écart entre l'arrivée du fournisseur et l'heure du rendez-vous prévu. Il est donc plus difficile de mesurer le comportement du centre de distribution, c'est-à-dire, le début de déchargement à l'heure. Il est donc pertinent d'évaluer l'impact de la variation des temps d'arrivée des fournisseurs sur d'autres indicateurs. La figure 23 illustre donc l'écart moyen de début de déchargement des bons de commande pour chaque scénario. Contrairement au premier indicateur, si la remorque du fournisseur est déchargée à l'avance, l'écart de déchargement est négatif, puisque l'on considère maintenant l'écart entre l'heure de rendez-vous et l'heure de début de déchargement.

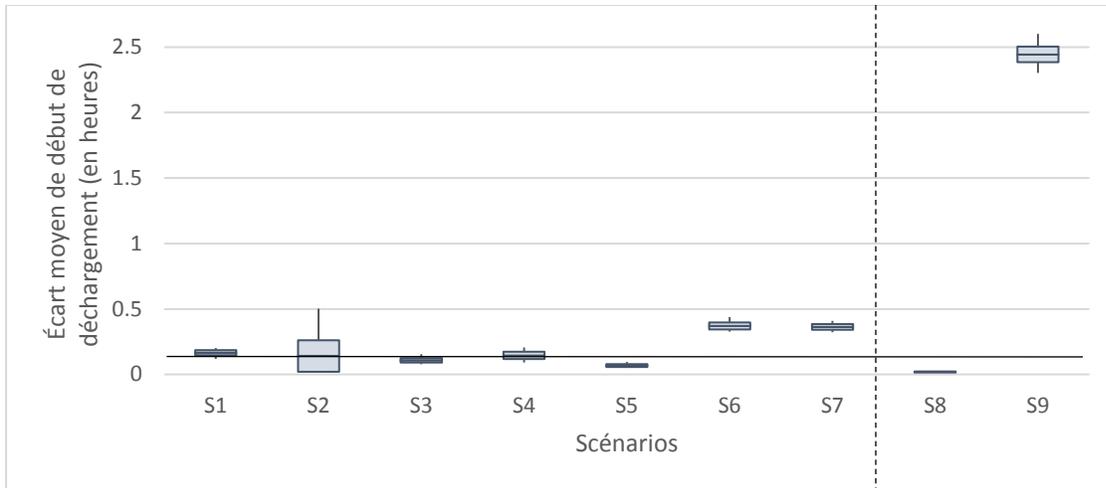


Figure 23 - Écart de début de déchargement lorsque le fournisseur respecte le rendez-vous en fonction des scénarios 1 à 9

Lorsque l'on analyse les différents scénarios en fonction de l'écart de début de déchargement, et ce, lorsque le fournisseur respecte le rendez-vous, il est possible de constater que l'ensemble des scénarios à l'exception du neuvième est très près de la situation initiale. Les scénarios 6 et 7 semblent toutefois se distinguer à la hausse des autres. Ces scénarios représentent une réduction du temps d'arrivée de tous les fournisseurs. Ils ont une incidence sur plus de bons de commande d'où un plus grand écart moyen de déchargement. En réduisant les retards des fournisseurs, l'écart moyen de début de déchargement de ceux qui ont respecté leur rendez-vous est affecté. En fait, la proportion de bons de commande arrivés à l'heure devient plus importante et le modèle n'a pas la capacité de maintenir un écart de début presque nul. Le scénario 9, qui augmente de façon importante les retards des fournisseurs, présente aussi une augmentation de l'écart de début du déchargement des fournisseurs qui ont respecté leur rendez-vous. L'écart moyen est de 2,44 heures comparativement à un écart initial de 0,02 heure. Cela indique que le modèle a un effet pervers, pénalisant fortement les bons de commande qui arrivent en avance en raison d'une augmentation des grands retards. Cela n'incite probablement pas les fournisseurs à respecter leur rendez-vous. Nous pouvons aussi remarquer que la mesure de performance de la situation initiale est près de zéro. Le centre de distribution a donc la capacité, en moyenne, de respecter l'horaire des fournisseurs qui respecte leur rendez-vous.

L'écart moyen de début de déchargement permet de visualiser l'effet global d'un changement des temps d'arrivée sur les bons de commande qui ont respecté le rendez-vous. Toutefois, une priorisation de certains bons de commande très à l'avance pourrait affecter l'écart moyen à la baisse. Nous avons donc voulu analyser la proportion de bons de commande qui ont respecté leur rendez-vous, et qui ont été déchargés à l'heure prévue, dans l'heure suivante ou plus d'une heure après leur rendez-vous. Ceci nous donne une indication de la capacité du CD à respecter les rendez-vous des fournisseurs arrivant à l'heure. Les figures 24 à 26 illustrent ces trois comportements du centre de distribution.

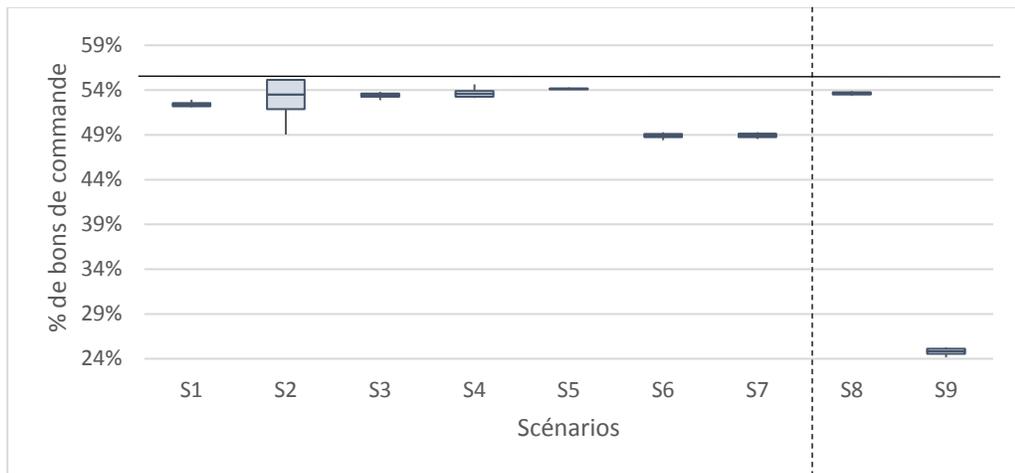


Figure 24 - Proportion des bons de commande arrivés et déchargés en respectant le rendez-vous en fonction des scénarios 1 à 9

La figure 24 montre que tous les scénarios réduisent la proportion de bons de commande arrivés et déchargés à l'heure et particulièrement le neuvième scénario, qui ne se compare pas aux autres avec une proportion moyenne de 24%, comparativement au modèle initial de 55%. Or, le respect des rendez-vous assignés au fournisseur est le principal comportement attendu du centre de distribution. Dans un contexte d'imposition d'une pénalité, le centre de distribution se doit aussi de respecter l'heure de rendez-vous du déchargement. Dans le cas étudié, la proportion de bons de commande déchargés après l'heure de rendez-vous varie entre 46% et 76% selon le scénario envisagé. Nous allons explorer ces proportions à travers les deux prochaines mesures de performance. La figure 25 illustre la proportion de bons de commande arrivés à l'heure, mais déchargés dans l'heure suivant le rendez-vous.

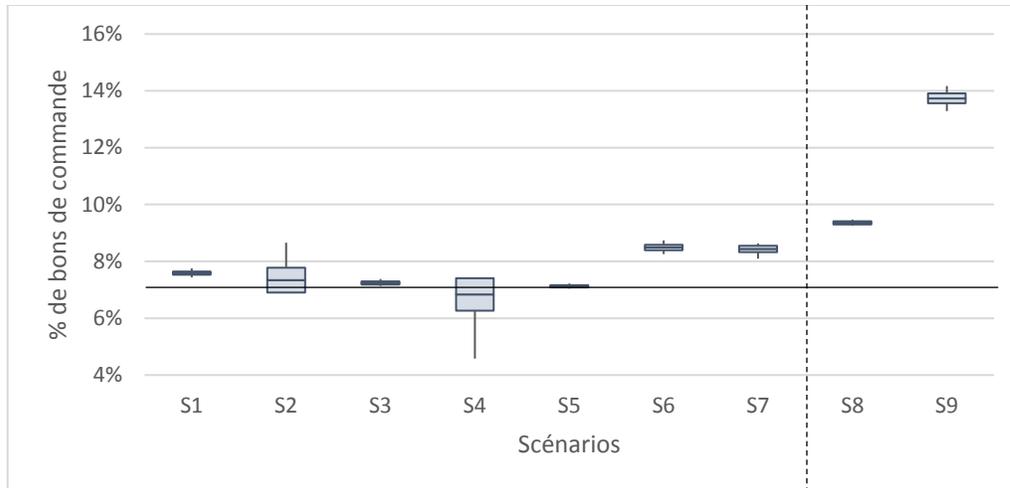


Figure 25 Proportion des bons de commande arrivés à l’heure et déchargés dans l’heure suivant le rendez-vous en fonction des scénarios 1 à 9

Les cinq premiers scénarios ont une proportion semblable au modèle initial. Les scénarios 6 à 8 présentent une hausse de cette même proportion, tandis que le scénario 9 présente une grande augmentation de la proportion du nombre de bons de commande arrivés à l’heure et déchargés dans l’heure suivant leur rendez-vous. Un grand nombre de retards importants a donc un impact sur l’écart de début de déchargement des bons de commande qui arrivent à l’heure.

Finalement, la figure 26 illustre la proportion de bons de commande qui subissent une très longue attente malgré leur ponctualité. Pour l’ensemble des scénarios, la proportion des bons de commande subissant une longue attente semble avoir une augmentation proportionnelle à la situation précédente à l’exception du scénario 8. Étant donné que ce dernier augmente les petits retards uniquement, la proportion de bons de commande arrivés à l’heure, mais déchargés en retard a été davantage bouleversée par ce changement. En fait, on peut en déduire que les petits retards sont traités similairement à ceux qui arrivent à l’avance. Ainsi, l’augmentation du temps d’arrivée des fournisseurs qui présentent des petits retards a un impact positif sur ceux qui arrivent à l’avance.

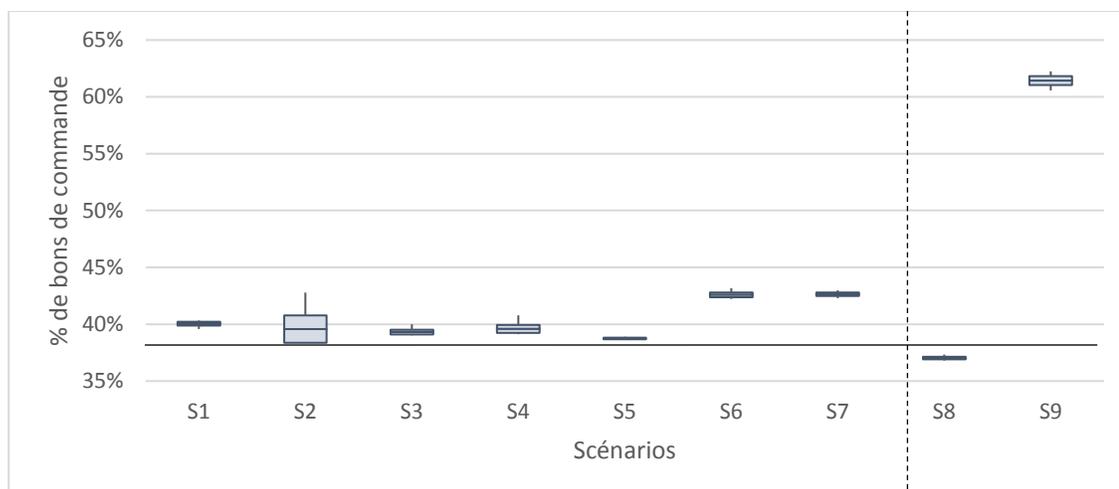


Figure 26 Proportion des bons de commande arrivés à l'heure et déchargés plus d'une heure suivant leur rendez-vous en fonction des scénarios 1 à 9

Cette première partie de l'expérimentation visant à faire varier le temps d'arrivée des bons de commande en retard permet de présumer que l'horaire des rendez-vous n'est pas établi en prévision d'un respect intégral du respect des rendez-vous par les fournisseurs. En effet, la mise en place de pénalités visant certains fournisseurs qui devrait amener une réduction des retards entraîne une augmentation du temps d'attente des fournisseurs et une hausse de l'écart de début de déchargement des bons de commande arrivés à l'heure. De plus, cette réduction des retards de certains fournisseurs entraîne une hausse de la proportion des bons de commande arrivés à l'heure, mais déchargés plus d'une heure suivant le rendez-vous et une baisse de ceux arrivés et déchargés à l'heure. Le comportement inverse serait souhaitable. Donc, parmi les sept premiers scénarios, aucun n'est retenu, puisqu'ils ne présentent pas d'amélioration des mesures de performance.

Enfin, une légère augmentation des petits retards des fournisseurs, illustrée par le scénario 8, semble être favorable pour certains indicateurs de performance, soit l'écart de début de déchargement et la proportion de bons de commande arrivés à l'heure, mais déchargés plus d'une heure en retard. Or, les différences sont minimes et au détriment de la proportion de bons de commande arrivés et déchargés à l'heure. De façon générale, il n'y a pas une grande différence entre la situation initiale et le scénario 8 où l'heure d'arrivée des fournisseurs présentant des petits retards est augmentée. À l'opposé, l'augmentation marquée des temps d'arrivée des petits et grands retards a un impact majeur sur toutes les

mesures de performance. On peut conclure qu'une telle hausse n'est pas souhaitable, principalement au détriment des fournisseurs respectant le rendez-vous. De plus, l'imposition de pénalités monétaires en cas de retard serait injustifiable si le centre de distribution n'est pas en mesure de respecter les rendez-vous. Ainsi, aucun scénario n'est retenu à la suite de première partie de l'expérimentation.

### 7.2.2 Partie 2 – Scénarios sur les règles de priorisation

La deuxième partie de l'expérimentation vise à quantifier l'impact du choix de règles de priorisation sur les mesures de performance du processus. Ainsi, chaque scénario sera analysé indépendamment afin de simuler l'impact de ce changement. À la suite des résultats des mesures de performance énumérées plus tôt, l'application des meilleures règles sera effectuée sur tous les scénarios (10 à 37) de cette partie de l'expérimentation. Finalement, nous comparons nos résultats à un système *Premier entré, premier sorti* (PEPS) ainsi que le modèle initial de la simulation qui représente les règles utilisées actuellement par l'entreprise étudiée.

Pour commencer, nous avons effectué la simulation en appliquant une règle de priorisation à la fois, soient les scénarios 10 à 37. La figure 27 présente le temps en file d'attente de tous les fournisseurs. Cette mesure estime le temps réel passé sur le site.

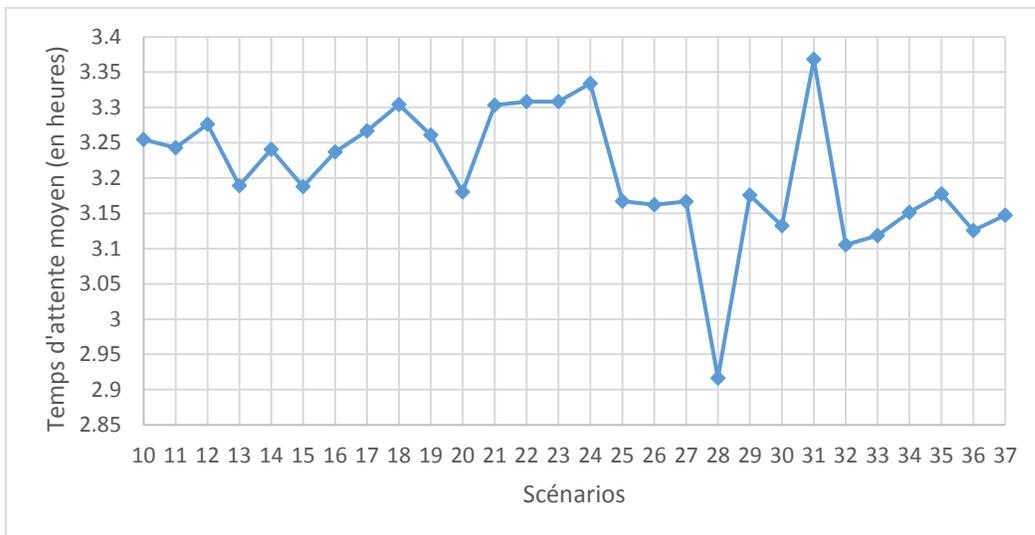


Figure 27 - Temps d'attente moyen en file d'attente des bons de commande en fonction des scénarios 10 à 37

Il est possible de remarquer à la que le temps moyen en file d'attente est particulièrement bas en fonction du scénario 28. En utilisant cette règle de priorisation, on obtient un temps d'attente moyen de 2,92 heures comparativement aux autres scénarios qui varient entre 3,11 et 3,37 heures. Ce scénario représente la priorisation des bons de commande avec un chauffeur en attente. On peut en conclure que dans le cadre de cette règle, le temps moyen de tous les bons de commande, comprenant aussi les bons de commande sans chauffeur en attente, est favorisé. Une fois que les bons de commande avec chauffeur en attente sont affectés d'une priorité plus élevée, c'est la règle du *Premier entré et premier sorti* qui effectue le choix des bons de commande. Un centre de distribution performant doit s'assurer de respecter le plus fidèlement possible l'heure promise aux fournisseurs. Étant donné que la mesure de performance mesurant la file d'attente moyenne ne prend pas compte la capacité du CD à respecter l'horaire convenu, nous nous sommes intéressés à l'écart de début de déchargement lorsque le fournisseur est arrivé à l'heure et l'écart de début de déchargement lorsque le fournisseur est arrivé en retard. Ces deux mesures de performance sont présentées à la figure 28 en fonction des scénarios 10 à 37.

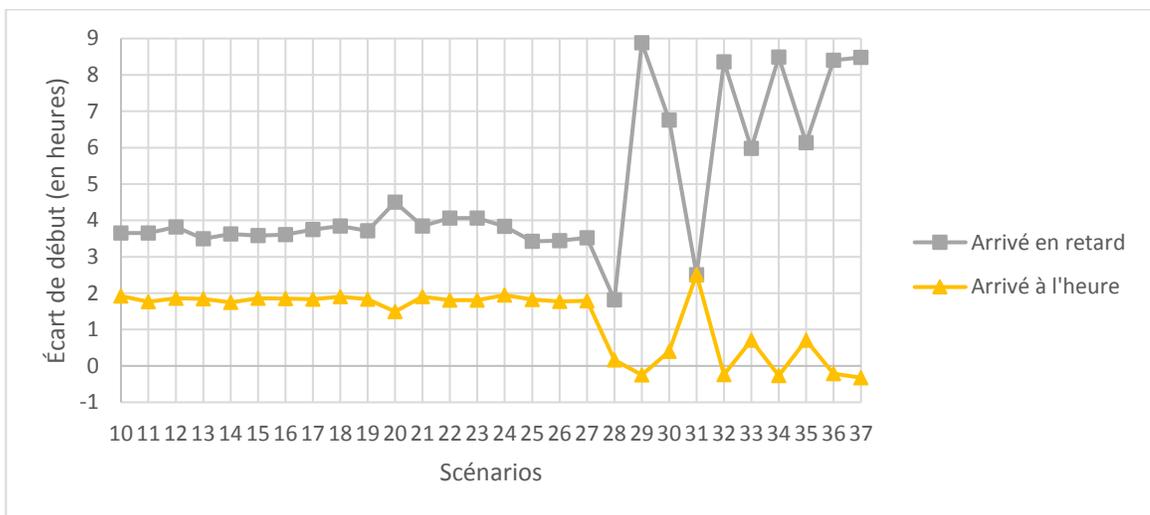


Figure 28 - Écart de début de déchargement selon l'arrivée du fournisseur et en fonction des scénarios 10 à 37

Du côté des fournisseurs arrivés à l'heure, certains scénarios, dont le 29, 32, 34, 36 et 37 permettent de réduire leur écart de début de déchargement. C'est d'ailleurs le comportement qu'on s'attend d'un centre de distribution. On remarque aussi que le scénario 28 est celui qui est le plus favorable pour les fournisseurs arrivant en retard.

Contrairement aux scénarios 29 à 37, l'écart d'arrivée du fournisseur n'est pas considéré dans ce scénario. Tel que mentionné plus haut, les remorques sans chauffeur en attente ne sont pas prises en compte dans ces deux mesures. Ainsi, le scénario permet d'atteindre un faible écart de début pour les deux mesures, contrairement aux autres scénarios. Nous considérons que le scénario 28, priorisant les bons de commande avec chauffeur en attente, est une règle qui devrait s'appliquer avant toute autre règle de priorisation, car il n'y a pas de conséquence à ce que ces remorques attendent quelques heures.

Enfin, le scénario 28 permet d'obtenir le plus bas temps moyen de la file d'attente, l'écart de début de déchargement le plus bas des bons de commande arrivés en retard et fait partie des scénarios qui ont l'écart de début de déchargement le plus bas pour les bons de commande arrivés à l'heure. Nous croyons que, jumelé avec d'autres règles de priorisation, le scénario 28 pourrait permettre d'améliorer le comportement du centre de distribution vis-à-vis les fournisseurs respectant leur rendez-vous. Nous avons donc repris le scénario 28 et ajouté la règle de priorisation de chaque scénario 10 à 37.

La figure 29 présente l'écart de début de déchargement moyen des bons de commande avec un chauffeur en attente, selon les arrivées en retard et ceux à l'heure, en fonction des scénarios 10 à 37. Le scénario 28 est le seul qui ne soit pas combiné, puisqu'il s'agit de la règle choisie.

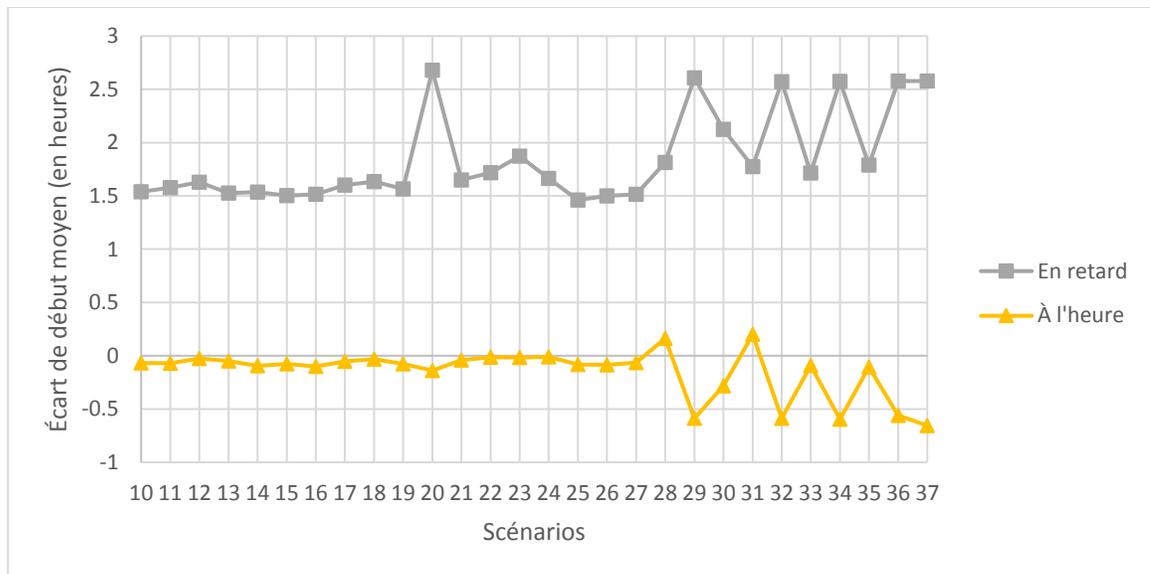


Figure 29 - Écart de début de déchargement moyen des bons de commande priorisant les chauffeurs en attente en fonction des scénarios 10 à 37

Tout d'abord, nous pouvons remarquer une augmentation importante de l'écart de début de déchargement des bons de commande arrivés en retard pour le scénario 20. Ce scénario ne priorise pas les bons de commande arrivés en retard sur le quart de nuit. Ainsi, de grands écarts sur ce quart de travail affectent l'écart de début moyen de ce scénario. Par contre, au niveau des fournisseurs arrivés à l'heure, ce scénario ne se distingue pas des autres. Notre attention est plutôt vers l'écart moyen de début de déchargement des scénarios 29 à 37 dévoilant des variations importantes des bons de commande arrivés à l'heure et en retard. Ces neuf scénarios présentent des règles de priorisation en lien avec l'écart d'arrivée catégorisé selon si le fournisseur respecte le rendez-vous, présente un retard de moins d'une heure ou de plus d'une heure. En effet, l'écart d'arrivée a une influence sur l'écart de début de déchargement le faisant varier de -0,65 à 0,20 heure pour les bons de commande arrivés à l'heure ainsi que de 1,71 à 2,61 heures pour les bons de commande arrivés en retard. Il s'agit d'une différence de 51 et 54 minutes respectivement pour les deux écarts de début de déchargement. Ces règles de priorisation ont donc un impact important sur les mesures de performance.

Les deux mesures de performance illustrées dans la figure 29 permettent donc d'évaluer la capacité du centre de distribution à respecter ses engagements. On cherche donc à avoir les écarts les plus bas possible. Par contre, on pose l'hypothèse qu'il est plus important de

respecter le rendez-vous des fournisseurs qui ont eux-mêmes eu un comportement positif, c'est-à-dire qu'ils se présentent à l'heure. En nous référant à la figure 29, nous avons identifié les écarts de début de déchargement les plus bas de la mesure ciblant uniquement les bons de commande arrivés à l'heure. Tout comme dans la figure 28 où le scénario 28 n'était pas affecté à tous, les scénarios 29, 32, 34, 36 et 37 se démarquent. Ce sont ceux qui priorisent selon l'écart d'arrivée du fournisseur. Le tableau 36 résume la description de ces cinq scénarios.

Tableau 36 : Descriptions des scénarios 29, 32, 34, 36 et 37

Scénario	Description
S29	Prioriser les bons de commande qui sont arrivés à l'avance;
S32	Prioriser les bons de commande dans l'ordre suivant : <i>En avance, Petit retard et Grand retard</i> ;
S34	Prioriser les bons de commande dans l'ordre suivant : <i>Un peu à l'avance (max 30 min.), En avance, Petit retard et Grand retard</i> ;
S36	Prioriser les bons de commande dans l'ordre suivant : <i>Un peu à l'avance (max 15 min.), En avance, Petit retard et Grand retard</i> ;
S37	Prioriser les bons de commande dans l'ordre suivant : <i>Un peu à l'avance (max 60 min.), En avance, Petit retard et Grand retard</i> ;

Le seul point commun de ces cinq scénarios est que les grands retards ne sont pas priorisés. En effet, on ne peut pas conclure sur la pertinence de prioriser les bons de commande arrivés à l'avance étant donné la distinction des scénarios 34, 36 et 37. Ainsi, nous avons testé à nouveau les scénarios 10 à 37 en impliquant, en premier lieu la règle de priorisation des bons de commande avec un chauffeur en attente, en second ceux n'ayant pas de retards de plus d'une heure et en ajoutant une troisième règle correspondant à un des scénarios proposés (10 à 37). La figure 30 présente les résultats de cette troisième étape.

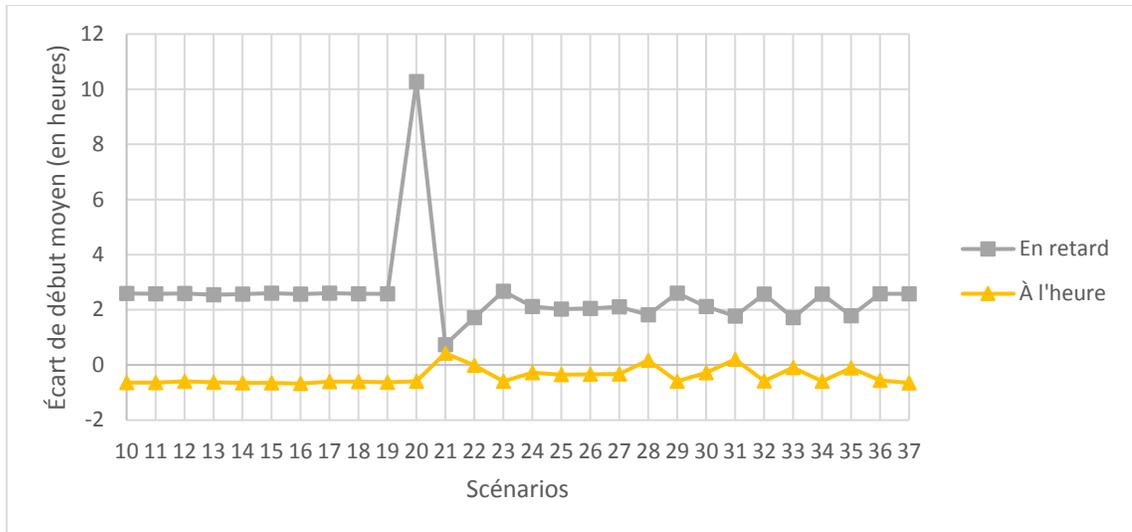


Figure 30 - Écart de début de déchargement moyen des bons de commande priorisant les chauffeurs en attente et les écarts d'arrivée d'une heure et moins en fonction des scénarios 10 à 37

À la suite de cette combinaison des deux règles de base et d'un scénario donné, l'écart moyen de début de déchargement des bons de commande arrivés à l'heure varie entre -0,68 heure et 0,43 heure, un intervalle d'un peu plus d'une heure. Or, 25 scénarios sur 28 présentent un écart de début de déchargement moyen négatif, ce qui signifie qu'en moyenne ils respectent le rendez-vous des fournisseurs arrivés à l'heure. Du côté de l'écart de début de déchargement des fournisseurs arrivés en retard, le scénario 21 présente un plus petit écart comparativement aux autres scénarios. Priorisant les bons de commande des fournisseurs C, ce scénario est le moins performant des fournisseurs arrivés à l'heure. À la lumière de ces résultats, nous ne pouvons pas identifier avec assurance les scénarios qui proposent les meilleurs résultats sur la base de l'écart de début de déchargement. Nous nous sommes donc intéressés à la proportion des bons de commande arrivés à l'heure et selon trois situations : les bons de commande déchargés en respectant l'heure de rendez-vous, dans l'heure suivant le rendez-vous et finalement ceux déchargés plus d'une heure après le rendez-vous.

Les 28 scénarios, combinés aux deux règles de priorisation de base : les bons de commande avec chauffeur en attente et avec un écart d'arrivée d'une heure et moins sont analysés en fonction des trois situations énumérées plus haut. Nous cherchons à augmenter la proportion de la première situation, soit les bons de commande déchargés

en respectant l'heure de rendez-vous, et minimiser la troisième, soit les bons de commande déchargés plus d'une heure après le rendez-vous. Afin de bien identifier les scénarios présentant les meilleures mesures de performance, les résultats sont présentés au tableau 37 en ordre décroissant du scénario qui arbore la proportion de bons de commande déchargés en respectant l'heure de rendez-vous la plus élevée, puisque c'est le comportement le plus souhaitable du centre de distribution.

Tableau 37 : Résultats des scénarios 10 à 37 et priorisant les chauffeurs en attente et les écarts d'arrivée d'une heure, en fonction des catégories d'écart de début de déchargement

Scénarios	À l'heure	Un peu de retard	Beaucoup de retard
S16	67.58%	10.78%	21.64%
S14	67.50%	10.70%	21.80%
S15	67.25%	10.89%	21.86%
S10	66.80%	10.79%	22.41%
S11	66.70%	10.59%	22.71%
S19	66.69%	10.75%	22.57%
S37	66.61%	13.76%	19.62%
S17	65.81%	10.30%	23.89%
S13	65.44%	10.54%	24.02%
S18	64.63%	10.03%	25.34%
S34	64.53%	12.50%	22.98%
S12	64.48%	9.95%	25.57%
S23	63.73%	9.86%	26.41%
S29	63.73%	9.87%	26.40%
S32	63.68%	9.93%	26.38%
S20	63.63%	10.17%	26.20%
S26	63.32%	10.31%	26.38%
S25	63.31%	10.43%	26.26%
S36	63.25%	11.70%	25.05%
S27	62.96%	10.22%	26.82%
S24	59.25%	9.09%	31.65%
S30	58.83%	9.11%	32.06%
S35	58.04%	12.40%	29.56%
S33	56.84%	8.62%	34.54%
S22	55.90%	8.43%	35.67%
<b>Initial</b>	<b>54.74%</b>	<b>6.94%</b>	<b>38.33%</b>
S31	53.68%	7.94%	38.38%
S28	52.72%	7.86%	39.42%
S21	52.38%	7.79%	39.84%
<b>PEPS</b>	<b>41.11%</b>	<b>5.46%</b>	<b>53.43%</b>

La comparaison avec le modèle initial, qui reflète la réalité opérationnelle ainsi que l'application de la règle *Premier entré, premier sorti (PEPS)*, démontre l'impact du changement de règles de priorisation sur l'efficacité du processus de réception. En effet, alors qu'un système suivant un principe *PEPS* ne réussit qu'à décharger 41% des bons de commande arrivés à l'heure, le modèle initial atteint presque 55%, loin derrière un taux de plus de 67% atteint par les trois premiers scénarios. C'est l'équivalent de plus de 4 500 à 10 000 bons de commande sur une période de moins de deux ans qui sont déchargés à l'heure comparativement aux deux autres méthodes. De la même manière, les scénarios au haut du tableau 37 présentent des proportions de moins de 22% de bons de commande déchargés après plus d'une heure de retard comparativement à plus de 38% dans le modèle initial et 53% selon la règle *Premier entré, premier sorti*. Une réduction de plus de 6 000 à près de 12 500 bons de commande arrivés à l'heure qui n'ont pas à attendre plus d'une heure.

Combinés aux deux principales règles choisies, les scénarios présentant de bonnes performances priorisent soit un nombre de palettes faible ou un type de dépilage. Le tableau 38 rappelle la description des scénarios qui ont présenté les meilleurs résultats individuellement dans l'ordre décroissant de la proportion de bons de commande déchargés en respectant l'heure de rendez-vous.

Tableau 38 : Description des scénarios 16, 14, 15, 10 et 11

Scénario	Descriptions
S16	Prioriser les bons de commande ayant un nombre de palettes inférieur à 16;
S14	Prioriser les bons de commande ayant un type de dépilage 2 ou 3;
S15	Prioriser les bons de commande ayant un type de dépilage 1 ou 3;
S10	Prioriser les bons de commande ayant un type de dépilage 1 – Aucune dépilage;
S11	Prioriser les bons de commande ayant un type de dépilage 2 – Un peu de dépilage;

Une des raisons qui place le scénario 16 en première place est le temps de déchargement moins élevé des bons de commande présentant peu de palettes. En effet, si deux bons de commande sont en attente pour une seule ressource, le temps d'attente d'un bon de commande équivaut au temps de déchargement de l'autre. Ainsi, en priorisant les bons de commande ayant un temps de déchargement court, le centre de distribution réduit le temps d'attente du bon de commande qui n'est pas priorisé. À plus grand volume, cette distinction augmente la probabilité de décharger plus de bons de commande à l'heure ou avec un peu de retard. Il est difficile de trouver une explication aux quatre scénarios priorisant le type de dépilage. L'explication la plus plausible est que ces scénarios ne favorisent pas un petit groupe de bons de commande. Par exemple, pour le scénario 14, après avoir priorisé les bons de commande avec un chauffeur en attente et ceux ne présentant pas de longs retards, les bons de commande ayant un type de dépilage 2 ou 3 représentent 52% des bons de commande restants. Ainsi, le scénario 14 donne une priorité à environ la moitié des bons de commande restant sur le site. Étant donné que les différences entre les scénarios les plus performants sont minimales, le choix d'un ou l'autre est à la discrétion de l'entreprise. Dans le cadre de l'expérimentation, nous avons choisi de conserver le scénario 16. Pour les besoins du mémoire, la combinaison de la priorisation des bons de commande avec un chauffeur en attente, ne présentant pas un grand retard et ayant moins de 16 palettes est nommée comme 38<sup>e</sup> scénario et sera reprise à titre comparatif pour les prochains scénarios.

Finalement, nous avons testé le changement dynamique dans la file d'attente, soit le fait d'attribuer une priorité plus importante lors de l'approche du rendez-vous. En fait, nous illustrons une règle de décision où le gestionnaire priorise les bons de commande des fournisseurs arrivés à l'avance et dont l'heure du rendez-vous approche. Nous ciblons les bons de commande du scénario 38, soit avec chauffeur en attente, n'ayant pas de grands retards et présentant moins de 16 palettes. Le tableau 39 présente la proportion de bons de commande dans les trois catégories d'écart de début de déchargement, c'est-à-dire les bons de commande déchargés en respectant l'heure de rendez-vous, dans l'heure suivant le rendez-vous et finalement ceux déchargés plus d'une heure après le rendez-vous, selon un écart dynamique. Trois intervalles de temps ont été testés et comparés au scénario 38,

soit la priorisation des bons de commande dont le rendez-vous est prévu dans 15 minutes, dans 30 minutes ou dans 60 minutes.

Tableau 39 : Comparaison du scénario 38 lors de l'ajout d'un changement dynamique dans la file d'attente en fonction des catégories d'écart de début de déchargement

Scénarios	À l'heure	Un peu de retard	Beaucoup de retard
S38	67.58%	10.78%	21.64%
S38- Dynamique : Max 48h	67.22%	10.72%	22.06%
S38 – Dynamique : 60min	66.89%	11.35%	21.76%
S38 - Dynamique : 30min	65.30%	11.51%	23.19%
S38 - Dynamique : 15min	64.63%	11.56%	23.82%

Les résultats montrent que l'ajout d'un changement dynamique dans la file d'attente ne permet pas d'obtenir de meilleures proportions de bons de commande arrivés et déchargés à l'heure. Plus l'intervalle dynamique est faible, moins la proportion de bons de commande arrivés et déchargés à l'heure est élevée. On peut présumer que ce changement dynamique est trop court pour que les ressources deviennent disponibles et que le déchargement débute à l'heure.

La deuxième ligne du tableau 39 illustre, quant à elle, l'ajout d'un changement dynamique dans le temps permettant de limiter le temps d'attente total d'un bon de commande. En effet, ce changement dynamique assure qu'aucune remorque ne reste dans la file pendant plusieurs jours. Ce changement cible principalement les bons de commande qui ont une priorité très basse. Nous avons posé la condition que les remorques en file d'attente ne devraient pas rester sur le site plus de 48 heures, sans quoi la fraîcheur des produits est menacée. En posant une condition de vérification, nous nous assurons qu'un bon de commande qui a été mis à l'écart en raison d'une faible priorité soit déchargé dans un délai raisonnable. On remarque, au tableau 39, que la proportion de bons de commande arrivés et déchargés à l'heure est très similaire au scénario 38 sans changement dynamique. Cela nous indique que le modèle a la capacité de décharger dans un délai raisonnable sans cette vérification.

Pour conclure cette deuxième partie de l'expérimentation, la figure 31 illustre l'amélioration des mesures de performance par l'introduction et le choix de certaines règles de priorisation. Nous comparons la file d'attente globale ainsi que l'écart de début de déchargement des bons de commande sans chauffeur en attente, avec chauffeur en attente et arrivés en retard ainsi qu'avec un chauffeur en attente et arrivés à l'heure dans trois situations:

- (1) *Premier entré, premier sorti*;
- (2) Le modèle initial;
- (3) Le scénario 38.

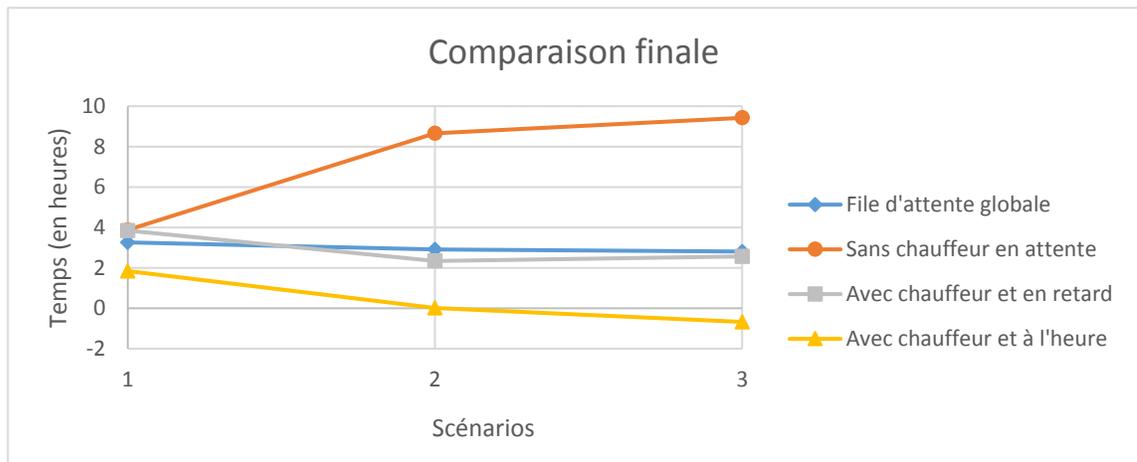


Figure 31 Comparaison des mesures de performance globale d'un système PEPS (1), du modèle initial (2) et du scénario 38 (3)

À la lumière des résultats de la figure 31, nous pouvons conclure que l'application des règles de priorisation n'a pas d'impact important sur la file d'attente globale, mais plutôt sur les groupes de bons de commande selon deux caractéristiques : la présence d'un chauffeur en attente et l'écart d'arrivée du rendez-vous. En suivant la règle *Premier entré, premier sorti* (1), il y a peu de distinction entre les différents groupes. L'écart de début de déchargement varie de 2,04 heures entre les groupes, tandis que dans le modèle initial (2), la différence est de 8,63 heures, favorisant les fournisseurs arrivés à l'heure au détriment des bons de commandes sans chauffeur en attente. Finalement, un scénario basé sur des règles de priorisation plus raffinées, soit le scénario 38 (3), permet de réduire l'écart de

début des fournisseurs arrivés à l'heure, au détriment de ceux arrivés en retard ou sans chauffeur en attente. La différence entre ces groupes est de 10,09 heures.

### 7.2.3 Partie 3 – Scénarios sur le temps de déchargement

L'unique scénario pouvant faire varier le temps de déchargement dans le contexte de l'entreprise étudiée est la réduction de l'écart de temps de déchargement lorsque le temps réel est supérieur au temps prévu sur le quart de soir et de nuit. À la suite des analyses statistiques, nous avons posé l'hypothèse qu'une compensation monétaire ou une formation additionnelle nous permet de réduire l'écart de temps de déchargement. En effet, ce 39<sup>e</sup> scénario repose sur l'hypothèse que la compensation monétaire pourrait influencer les employés avec expérience à travailler sur le quart de soir et de nuit et qu'une formation additionnelle aux employés du quart de soir et de nuit permettrait d'améliorer leur productivité lors de déchargement qui prennent plus de temps que prévu. La figure 32 présente le temps moyen en file d'attente de la situation initiale, du scénario 39 et de la règle *Premier entré, premier sorti*. Tel qu'illustré, le scénario 39 permet de réduire la file d'attente moyenne de 0,57 heure, soit plus de 34 minutes sur une file d'attente globale de 2,93 heures initialement et 3,26 heures en suivant la règle PEPS.

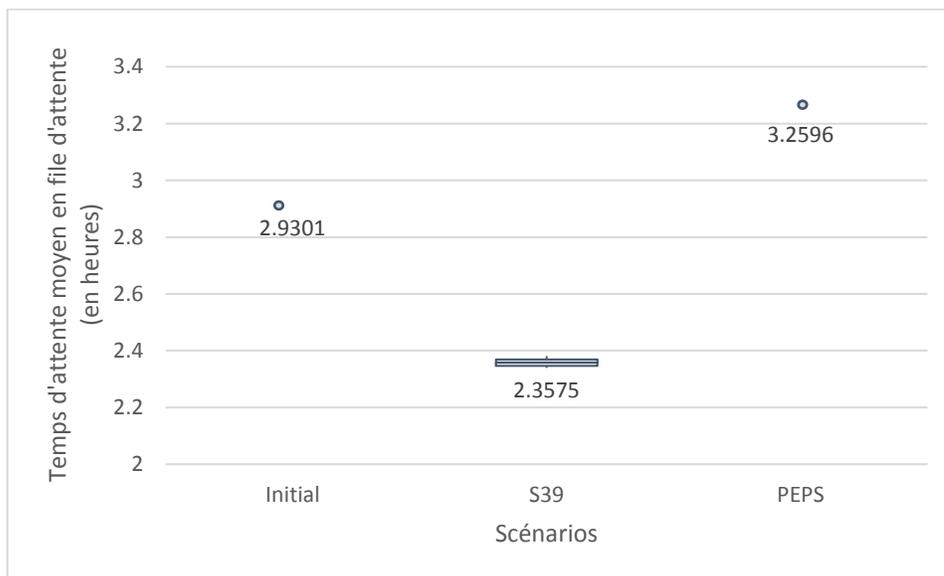


Figure 32 - Temps d'attente moyen en file

Cette amélioration de l'efficacité du processus de réception grâce à l'équilibrage de deux quarts de travail doit être justifiée par le coût d'une formation ou d'un incitatif. La mesure

du temps d'attente moyen n'est pas assez précise afin de justifier cette implication de coûts du scénario. L'augmentation du nombre de bons de commande arrivés et déchargés à l'heure serait la seule mesure qui pourrait le justifier. Le tableau 40 présente donc la comparaison de la proportion de bons de commande déchargés, en fonction des trois situations possibles, soit en respectant l'heure de rendez-vous, dans l'heure suivant le rendez-vous et finalement ceux déchargés plus d'une heure après le rendez-vous. Tel que mentionné plus tôt, nous cherchons à augmenter la proportion de la première situation et minimiser la troisième.

Tableau 40 : Comparaison de la proportion de bons de commande déchargés, en fonction des trois catégories d'écart de début et selon le scénario 39, le modèle initial et la règle PEPS

Scénarios	À l'heure	Un peu de retard	Beaucoup de retard
S39	56.54%	7.14%	36.32%
Modèle initial	54.74%	6.94%	38.33%
PEPS	41.11%	5.46%	53.43%

En comparant les résultats du tableau 40, il est possible de constater que le comportement du centre de distribution s'est amélioré de moins de 2% par rapport au modèle initial. L'ajustement du temps de déchargement est forcément avantageux par rapport au modèle initial, car le temps de déchargement a été réduit. Par contre, l'arbitrage des coûts nécessaires à cet équilibrage et les bénéfices doit être fait.

#### 7.2.4 Combinaison des trois parties de l'expérimentation

À la suite de la première partie de l'expérimentation où neuf scénarios ont fait varier les temps d'arrivée des fournisseurs, aucun scénario n'a été retenu puisqu'aucun d'entre eux ne menait à une amélioration des mesures de performance. Dans la seconde partie de l'expérimentation, la combinaison de trois règles de priorisation de manière hiérarchique a permis au scénario 38 d'atteindre une grande amélioration de la proportion de bons de commande arrivés et déchargés à l'heure. En effet, ce scénario a fait grimper cette proportion de 12,84% des bons de commande par rapport à la situation initiale. Autrement dit, c'est l'équivalent de 4 650 bons de commande sur une période de 700 jours, ou l'équivalent de sept bons de commande par jour, qui sont déchargés à l'heure

comparativement à la situation actuelle de Metro. De plus, ce scénario a permis de réduire de 16,69% la proportion de bons de commande arrivés à l'heure et qui attendent plus d'une heure avant de se faire décharger. Cela équivaut à 6 045 bons de commande sur une période d'environ 700 jours ou à environ neuf bons de commandes par jour.

Enfin, le scénario 39 associé à la troisième partie de l'expérimentation, et visant à ajuster l'écart de temps de déchargement a aussi présenté des améliorations, quoique plus modestes. Les scénarios 38 et 39 semblent donc offrir un potentiel intéressant. Ils ont donc été combinés. La figure 33 présente le temps moyen de la file d'attente de la situation initiale, du scénario 38, 39 et de la combinaison de ces derniers.

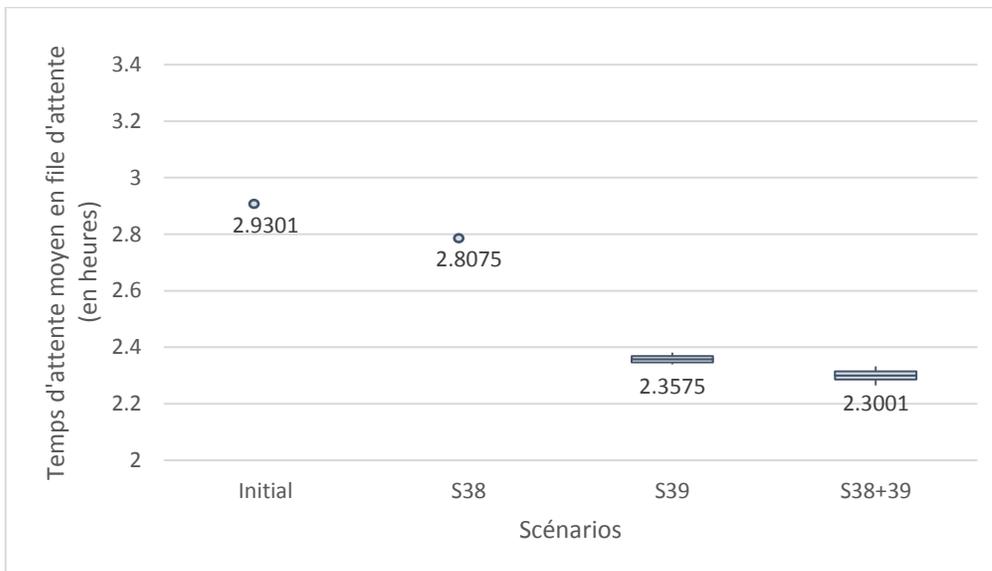


Figure 33 - Comparaison du temps moyen de la file d'attente du modèle initial, du scénario 38, 39 et de la combinaison de 38 et 39.

Sans surprise, le temps de la file d'attente est réduit par la combinaison des scénarios 38 et 39. Par contre, l'écart avec le scénario 39 se limite à 6 minutes. Ce scénario combiné permet tout de même de réduire la file d'attente globale à 2,30 heures, une diminution de 0,63 heure, soit près de 38 minutes de moins que le modèle initial. C'est en comparant la proportion des bons de commande arrivés et déchargés à l'heure, dans l'heure suivant le rendez-vous et plus d'une heure après le rendez-vous présenté au tableau 41 que nous pouvons remarquer que la combinaison des scénarios 38 et 39 n'est pas aussi bénéfique que souhaité.

Tableau 41: Proportion de bons de commande déchargés

Scénarios	À l'heure	Un peu de retard	Beaucoup de retard
S38	67.58%	10.78%	21.64%
S38+39	64.95%	10.37%	24.68%
S39	56.54%	7.14%	36.32%
Modèle initial	54.74%	6.94%	38.33%

Malgré le fait que la combinaison de ces deux scénarios permet d'atteindre une proportion de 65% des bons de commande arrivés et déchargés à l'heure, l'amélioration ne dépasse pas celle obtenue par le scénario 38, qui n'a pas d'implication de coût pour sa mise en place. Bref, à la suite des trois phases d'expérimentation, la modification des règles de gestion de la file d'attente est le seul changement qui semble réaliser de réelles améliorations des mesures de performance du processus de réception de remorques.

### 7.3 Discussion des résultats

À la lumière des résultats, nous pouvons affirmer que la variabilité du comportement du fournisseur et celle du centre de distribution affectent la performance du processus de réception de remorques d'un centre de distribution. La première partie des résultats nous permet de conclure que malgré un changement du comportement d'arrivée des fournisseurs, les mesures de performance du processus global ne sont pas améliorées. Au contraire, l'introduction de neuf scénarios variant le temps d'arrivée des fournisseurs de façon globale ou selon des attributs précis n'a pas permis d'améliorer la situation. L'augmentation du temps en file d'attente et de l'écart de début de déchargement a été démontrée. Un plus grand respect de l'horaire par les fournisseurs conduit à une moins bonne performance du processus. Nous pouvons alors affirmer que l'horaire préétabli n'est pas construit de façon à favoriser le respect des rendez-vous par tous les fournisseurs et que le non-respect des rendez-vous ne semble pas être la source du problème.

En effet, une des observations au cours de l'expérimentation est que l'horaire regroupe des bons de commande avec des attributs similaires dans une même période. Par exemple, les bons de commande qui n'ont pas de chauffeur en attente sont principalement planifiés en fin de quart de travail. Cela encourage l'arrivée simultanée de plusieurs remorques qui font face aux mêmes règles de décision. De plus, beaucoup de rendez-vous sont condensés dans des plages horaires en début de quart de travail. À certains moments, il peut y avoir le double de rendez-vous que de ressources disponibles. Ainsi, le retard des fournisseurs n'est pas la cause racine de la problématique. L'horaire n'est pas fait pour être respecté par le centre de distribution. Il est davantage construit pour que les employés ne soient pas en attente. Or, étant donné qu'une majorité des fournisseurs arrivent en avance (68,25% des remorques avec chauffeur en attente), nous sommes portés à croire que les périodes d'attente des employés seraient exceptionnelles si on implantait un horaire mieux réparti. Une piste de recherche future serait de combiner des méthodes d'optimisation à la simulation pour tester cette proposition.

Finalement, nous pouvons nous demander si la création des plages horaires étudiées est volontaire ou le fruit d'ajustements au cours des années à la suite de l'augmentation du volume de réception. La préférence d'une certaine plage horaire par des fournisseurs peut

aussi être à la source de ces ajustements. Dans les deux cas, des mécanismes de révision de l'horaire devraient être mis en place pour éviter le regroupement des rendez-vous au même moment afin de réduire le temps d'attente des fournisseurs. La proportion de bons de commande arrivés à l'heure, mais déchargés plus d'une heure après le rendez-vous est un bon exemple d'une mesure à inclure lors de la révision de l'horaire. Dans un esprit de chaîne logistique collaborative, le fait de créer un horaire que l'on ne peut respecter n'incite probablement pas les fournisseurs à s'y tenir. Par contre, plus les fournisseurs arrivent en retard, plus cela justifie l'usage d'un horaire regroupé par lot afin d'éviter les temps d'attente des employés du déchargement. L'introduction de pénalités monétaires est difficilement justifiable lorsque le centre de distribution n'est pas en mesure de respecter l'heure de rendez-vous.

La deuxième partie de l'expérimentation porte sur le changement des règles de décision du modèle de simulation. Dans un contexte où l'horaire permet d'être respecté par le centre de distribution, les règles de priorisation des remorques n'ont lieu d'être que si un fournisseur ne respecte pas un rendez-vous. Étant donné que l'horaire planifie un lot d'arrivée de remorques simultanément, les règles de priorisation sont nécessaires afin d'être le plus efficace possible. Autrement, c'est un principe de *Premier entré, premier sorti* qui prône. La comparaison d'un système PEPS, du modèle initial et des scénarios faisant varier les règles de décision a permis de conclure que l'introduction de règles permet d'améliorer la performance du processus de réception de remorques dans le cas où l'horaire comporte des blocs d'arrivées simultanés. En effet, l'application de règles priorisant d'abord les bons de commande avec un chauffeur en attente, ensuite ceux ne présentant pas un grand retard et finalement contenant moins de 16 palettes a permis de réduire de près de la moitié du nombre de bons de commande arrivés à l'heure et déchargés plus d'une heure en retard. Alors qu'initialement, les bons de commande arrivés très en avance sont priorisés, cela entraîne des retards des bons de commande qui respectent leur rendez-vous, mais qui n'arrivent pas très en avance. Or, cette variabilité de l'arrivée du fournisseur ne devrait pas avoir un impact néfaste sur le comportement du centre de distribution.

Bref, la modification des règles de décision sur la priorisation permet d'améliorer l'écart de début de déchargement des bons de commande lorsque le fournisseur est arrivé à l'avance, au détriment d'un autre groupe, soit les remorques sans chauffeur en attente et celles arrivées en retard. En effet, dans ce cas, l'écart des bons de commande sans chauffeur en attente augmente. L'impact paraît toutefois limité puisqu'il n'y a personne qui subit ce temps d'attente. Les fournisseurs arrivés en retard subissent aussi une augmentation de l'écart de début de déchargement à la suite de l'imposition des nouvelles règles de décision, c'est-à-dire ceux qui ne respectent pas leur rendez-vous. Il n'y a donc pas une réelle amélioration de l'efficacité du processus global, mais plutôt un déplacement du temps d'attente vers des groupes ciblés que l'entreprise désire privilégier pour récompenser leur bon comportement.

La troisième partie de l'expérimentation qui visait à équilibrer l'écart de temps de déchargement lorsque celui-ci est supérieur au temps prévu a permis d'améliorer les mesures de performance, mais dans une moindre mesure que lorsque des changements sont apportés aux règles de décision. La révision du calcul du temps de déchargement pourrait permettre de réduire la variabilité de l'écart de temps de déchargement global. Or, à la suite des analyses statistiques du chapitre 5 et en analysant les résultats obtenus lors de l'expérimentation, il est plus plausible de croire que, de façon générale, la révision du calcul réduira le temps planifié. Ainsi, cette réduction va potentiellement augmenter le temps d'attente des fournisseurs, car il y a actuellement un temps tampon qui aide à la performance du centre de distribution.

Pour conclure, les règles de décision ont un impact plus important que la variation du temps d'arrivée et du temps de déchargement sur les mesures de performance. En effet, en imposant un horaire fixe, les règles de priorisation devraient être utilisées dans le seul cas où les fournisseurs arrivent en retard. Or, la situation actuelle de l'entreprise où l'horaire n'est pas optimisé, les règles de priorisation sont nécessaires pour tous les bons de commande. Par contre, il est impossible de respecter les rendez-vous promis aux fournisseurs en n'utilisant que des règles de priorisation. Une décision organisationnelle entre l'utilisation d'un horaire fixe et l'application des règles de priorisation en cas de retard ou l'utilisation des règles de priorisation pour toutes les arrivées doit être prise par

Metro. Bien entendu, un horaire fixe doit avoir la flexibilité afin de pallier la variabilité de l'arrivée des fournisseurs et du temps de déchargement. Il faudrait refaire des tests avec un horaire modifié afin de comparer le comportement du fournisseur et l'impact sur les mesures de performance du centre de distribution.



## Chapitre 8

### Conclusion

Ce mémoire explore la relation entre deux maillons de la chaîne d'approvisionnement : un centre de distribution et ses fournisseurs. Rappelons que l'utilisation d'un horaire permet de mieux coordonner les activités de réception d'un CD. Par contre, dans le cas étudié, malgré la mise en place d'un tel horaire, il semble y avoir des frustrations à la fois du côté du fournisseur que du côté des employés du centre de distribution. Le but de ce mémoire a donc été de mieux comprendre l'interrelation des fournisseurs et du centre de distribution et l'effet de la variabilité de leur comportement sur la performance du processus de réception, c'est-à-dire sur les temps d'attente des fournisseurs.

Les données statistiques des deux dernières années de l'entreprise Metro permettent de mieux comprendre les comportements des fournisseurs par rapport à leur heure d'arrivée et le comportement du centre de distribution en fonction des règles de gestion de la file d'attente des remorques aux portes et du temps nécessaire à leur déchargement. Quant à elle, la simulation a permis de reproduire le processus de réception et d'évaluer l'impact de différents scénarios sur sa performance. Ces scénarios visent à évaluer l'impact d'un changement de comportement du fournisseur ou du centre de distribution.

L'expérimentation a permis de tirer trois conclusions principales. Un changement des règles de priorisation des remorques lors de leur arrivée au centre de distribution permet d'améliorer la performance du processus. En effet, le temps d'attente des fournisseurs est réduit et un plus grand nombre de fournisseurs respectant leur rendez-vous est déchargé à l'heure prévue. Une réduction du temps de déchargement a permis de réduire le temps d'attente en file des fournisseurs. Par contre, l'écart est mince avec la situation actuelle et ne justifie pas nécessairement les coûts additionnels nécessaires pour mettre en place cette option. Finalement, la simulation a permis de mettre de l'avant un enjeu important de la mise en place d'un horaire de rendez-vous. L'horaire actuellement en place chez Metro ne permet pas au centre de distribution de décharger à l'heure les remorques planifiées. Une réduction des retards des fournisseurs contribue même à une augmentation de leur temps d'attente et à une baisse du nombre de bons de commande déchargés à l'heure, ce

qui va à l'encontre d'une meilleure coordination et collaboration. Ce résultat surprenant peut s'expliquer par le fait que Metro regroupe actuellement plusieurs rendez-vous à la même heure et utilise des règles de priorisation des remorques pour gérer en temps réel la file d'attente qui se forme indubitablement. Cette façon de faire permet à Metro d'utiliser efficacement ses employés. Par contre, dans un esprit de chaîne collaborative, une telle situation où le risque d'attente est imputé seulement aux fournisseurs ne contribue pas à une relation saine à long terme entre les deux acteurs.

Les leçons tirées de ce mémoire s'appuient sur une simulation dans un contexte d'un centre de distribution présentant un grand volume de produits à réceptionner et où la variabilité de l'heure d'arrivée des fournisseurs est un enjeu central. De plus, le cas de Metro présente des contraintes liées à la particularité des produits frais où la fréquence de livraison est très élevée. Les résultats pourraient donc être différents selon le type de produit et les contraintes associées. Par exemple, en donnant l'option à plus de fournisseurs de laisser leur remorque sans chauffeur, le centre de distribution obtiendrait une flexibilité accrue ce qui pourrait potentiellement améliorer sa performance. Il est aussi important de rappeler que nos analyses statistiques reposent sur un historique de deux ans. Ces données passées ne sont pas nécessairement représentatives de l'avenir. Ainsi, un changement dans les relations d'affaires avec certains fournisseurs importants ou l'arrivée de nouveaux fournisseurs pourrait avoir des conséquences sur les opérations. De plus, la façon d'établir l'horaire pourrait aussi grandement affecter les opérations. Une avenue de recherche est de combiner des techniques d'optimisation et de simulation afin de développer un horaire robuste, mais tenant compte de la variabilité des fournisseurs.

De plus, une autre différence entre la simulation et la réalité est que la simulation représente le schéma décisionnel d'un acteur tandis qu'en réalité plusieurs personnes occupent ce poste et ne suivent pas nécessairement toujours les lignes directrices de l'entreprise. Il est donc difficile d'être fidèle à cette prise de décision qui comporte un jugement humain. Enfin, ce mémoire nous a placés selon la perspective du centre de distribution. Une avenue de recherche intéressante est de sonder l'avis des fournisseurs et d'estimer l'impact de retards récurrents de la part d'un centre de distribution sur leur comportement ultérieur.

## Bibliographie

- Altioek, Tayfur et Benjamin Melamed (2007) « Simulation modeling and analysis with arena » Elsevier, 440 p.
- ASQ (2010) « Wal-Mart Tightens Slack on Supply Chain Association society of quality » Arkansas Democrat-Gazette, 16 février 2010. (Page consultée le 13 novembre 2017) Adresse URL :  
<http://asq.org/qualitynews/qnt/execute/displaySetup?newsID=8082>
- Awheda, Abdulghadar, Mohd Nizam Ab Rahman, Rizauddin Ramli et Haslina Arshad (2015) « Factors related to supply chain network members in SMEs » [version électronique], *Journal of manufacturing technology management*, vol. 27, no 2, p. 312-335.
- Bartholdi, John J. et Kevin. R Gue (2000). « Reducing labor costs in an LTL crossdocking terminal » [version électronique], *Operations Research*, vol. 48, no 6, p.823–832.
- Borshchev, Andrei et Alexei Filippov (2004) « From Systeme Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools » [version électronique], *The 22<sup>nd</sup> International Conference of the System Dynamics Society*, Oxford.
- Boysen, Nils et Malte Fliedner (2010) « Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda » [version électronique], *Omega*, vol. 38 no 6. p. 431-422.
- Brailsford, Sally et Nicola Hilton (2001) « A comparaison of discrete event simulation and system dynamics for modelling healthcare » [version électronique], *School of Management, University of Southampton*, UK.
- Caputo, Antonio, Pacifico M. Pelagagge et Federica Scacchia (2003) « Integrating transport systems in supply chain management software tools » [version électronique], *Industrial Management & Data Systems*, vol. 103, no 7, p. 503-515
- Ceroni, José A. et Shimon Y. Nof (2002, décembre) « A workflow model based on parallelism for distributed organizations » [version électronique], *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol.13, no 6, p. 439-461.
- Ceroni, José A. et Shimon Y. Nof (2007, 21 février) « Task parallelism in distributed supply organizations: a case study in the shoe industry » [version électronique], *The Management of Operations*, vol. 16, no 5, p.500-513.
- Chen et al., (2013, 16 avril) « Warehouse management with lean and RFID application » [version électronique], Springer-Verlag, London
- Christopher, Martin (2011) « Logistics & Supply Chain Management » [version électronique], *Pearson Education Limited*, Fourth Edition, UK

- Delhome, Raphaël (2016) « Modélisation de la variabilité des temps de parcours et son intégration dans des algorithmes de recherche du plus court chemin stochastique » [version électronique], Laboratoire d'Ingénierie Circulation Transport. Université de Lyon
- Dinno Alexis (2014) « dunntest: Dunn's test of multiple comparisons using rank sums » Stata software package. URL: <https://alexisdinno.com/stata/dunntest.html>
- Gasparro, Annie, Heather Haddon et Sarah Nassauer (2017, 27 novembre) « Produce or Else : Wal-Mart and Kroger Get Tough With Food Suppliers on Delays », *The Wall Street Journal*, 27 novembre 2017. (Page consultée le 3 janvier 2018) Adresse URL: <https://www.wsj.com/articles/wal-mart-kroger-impose-more-fines-on-suppliers-for-missed-deliveries-1511784000>
- Ghrayeb (2009, 13-16 décembre) « Simulation in retail; a case study for process improvement in the receiving area » [version électronique], *Winter Simulation Conference*, Texas.
- Giroux, Hélène (2014) « La gestion des opérations et de la logistique, Méthodes et principes fondamentaux », JFD Éditions, 448 p.
- Gopakumar, Balagopal, Survarna Sundaram, Shengyong Wang, Sumit Koli et Krishnaswami Srihari (2008, 7-10 décembre) « A simulation based approach for dock allocation in a food distribution center » [version électronique], *Winter simulation Conference*, Miami.
- Gostick, Adrian et Chester Elton (2009) « The Carrot Principle : How the best managers use recognition to engage their people, retain talent and acceleration performance », Free Press, New York.
- Gu, Jinxiang, Marc Goetschalckx et Leon F. McGinnis (2007, 16 février) « Research on warehouse operation: A comprehensive review » [version électronique], *European journal of Operational Research*, vol. 177, no 1 p.1-21.
- Gu, Jinxiang, Marc Goetschalckx et Leon F. McGinnis (2010, 16 juin) « Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review » [version électronique], *European journal of Operational Research* vol. 203, no 3 p. 539-549.
- Houston, Dan (2006, 16 juin) « An experience in facilitating process improvement with an integrated problem reporting process simulation » [version électronique], *Software Process Improvement and Practice*, vol. 11, no 4, p.361-371.
- Kelton, W.David, Randall P. Sadowski et David T. Sturrock (2004) « Simulation with Arena », 3e édition, McGraw-Hill, 668 p.
- Law, Averill M. et W. David Kelton (2000) « Simulation modeling and analysis », 3e édition, McGraw-Hill, 760 p.
- Ljungberg, David et Girma Gebresenbet (2004) « Mapping out the potential for coordinated goods distribution in city centres: The case of Uppsala » [version

- électronique], *International Journal of Transport Management*, vol. 2, no 3/4, p. 161-172.
- Metro (2018) Site corporatif. (Page consultée le 3 janvier 2018) Adresse URL: <https://corpo.metro.ca/fr/a-propos.html>
- Mittal Anuj et Caroline Krejci (2015, 6-9 décembre) « A hybrid simulation model of inbound logistics operations in regional food supply systems » [version électronique], *Winter simulation Conference*, Californie.
- Porteous, Angharad H., Sonali V. Rammohan et Hau L. Lee (2015, 2 avril) « Carrots or Sticks? Improving Social and Environmental Compliance at Suppliers Through Incentives and Penalties Production and operations management » [version électronique], *Production and operations management*, vol.24, no 9, p.1402-1413
- Rham, Erhard et Hong Hai Do (2000) « Data cleaning: Problems and current approaches » [version électronique], University of Leipzig, Germany
- Rossetti, Manuel D. (2016) « Simulation modeling and arena », 2e édition, Wiley, New Jersey, 719 p.
- Sachan, Amit et Subhash Datta (2005). « Review of supply chain management and logistics research » [version électronique], *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 35, no 9, p.664-705.
- Sargent, Robert G. (2013) « An introduction to verification and validation of simulation models » [version électronique], *Winter Simulation Conference*, New York
- Stank, Theodore P., Scott B. Keller et Patricia J. Daugherty (2011, 10 mai) « Supply chain collaboration and logistical service performance » [version électronique], *Journal of business logistics*, vol. 22 no 1.
- Tako, Antuela A. et Stewart Robinson (2012, mars). « The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context » [version électronique], *Decision Support Systems*, vol. 52, no 4, p. 802-815.
- Trebilcock, B. (2004) « Get lean. Modern Materials Handling » vol. 59, no 13, p. 61-66.
- Tsui, Louis Y. et Chia-Hao Chang (1992) « An optimal solution to a dock door assignment problem » [version électronique], *Computers and Industrial engineering* vol. 23, No 1-4, p. 283-286.
- Vallette, Marissa A., Prajwal Khadgi, Reinaldo Moraga, Ehsan Asoudegi et Omar Van der Vorst, Jack, Seth-Oscar Tromp et Durk-Jouke Van der Zee (2009, 13 octobre). « Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics» [version électronique], *International Journal of Production Research*, vol. 47, no 23, p.6611-6631.
- Vitasek, Kate (2016) « Target increases penalties up to five times for suppliers starting today » *Forbes*, 30 mai 2016. (Page consultée le 23 novembre 2017) Adresse URL: <https://www.forbes.com/sites/katevitasek/2016/05/30/target-increases-penalties-up-to-5x-for-suppliers-starting-today/#3f7c28e774c0>

Wells, J. (2017) « Walmart and Kroger fine suppliers for late or incomplete deliveries" Food Dive » FoodDive, 28 novembre 2017. (Page consultée le 4 janvier 2018)  
Adresse URL: <https://www.fooddive.com/news/grocery--walmart-and-kroger-fine-suppliers-for-late-or-incomplete-deliveries/511741/>

## **Annexes<sup>2</sup>**

---

<sup>2</sup> Un coefficient aléatoire est appliqué sur les résultats de la recherche afin de préserver la confidentialité des données de l'entreprise.



## Annexe A

### A.1 Écart d'arrivée des bons de commande divisé selon les trois variables dépendantes

Variabiles	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Tous	-1,40	3,55	34 900
Respect du rendez-vous	-2,39	3,00	26 746
Un peu de retard	0,40	0,28	4 381
Beaucoup de retard	3,56	3,98	3 773

### A.2 Écart d'arrivée des bons de commande selon le type de fournisseur et divisé selon les trois variables dépendantes

Variabiles	Fournisseur	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	A	-2,34*	2,96	16 410
	B	-2,49*	3,02	7 586
	C	-2,40*	3,15	2 750
Un peu de retard	A	0,40	0,28	2 657
	B	0,49	0,28	1 204
	C	0,37	0,28	520
Beaucoup de retard	A	3,39*	3,83	2 138
	B	3,68	3,94	1 165
	C	4,06	4,64	470

### A.3 Écart d'arrivée des bons de commande selon le quart de travail planifié, divisé selon les trois variables dépendantes

Variabiles	Quart de travail planifié	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Jour	-2,45*	3,07	21 635
	Soir	-2,14	2,66	4 128
	Nuit	-2,20	2,73	983
Un peu de retard	Jour	0,39	0,28	3 382
	Soir	0,41	0,28	851
	Nuit	0,40	0,28	148
Beaucoup de retard	Jour	3,60	4,09	2 916
	Soir	3,35	3,67	702
	Nuit	3,73*	3,06	155

A.4 Écart d'arrivée des bons de commande selon le type de dépilage et divisé selon les trois variables dépendantes

Variabes	Type dépilage	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	1	-1,84	2,44	14 022
	2	-3,09*	3,43	11 351
	3	-2,22	3,19	1 373
Un peu de retard	1	0,40	0,28	2 392
	2	0,40	0,28	1 642
	3	0,39	0,27	347
Beaucoup de retard	1	3,33*	3,54	1 744
	2	3,84*	4,37	1 815
	3	3,04*	3,72	214

A.5 Écart d'arrivée des bons de commande selon le nombre de lignes et divisé selon les trois variables dépendantes

Variabes	Nombre lignes	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	[1,5]	-2,52	3,16	20 660
	[6, 10]	-1,77*	2,14	3 238
	[11, 15]	-1,93*	2,21	1 437
	[16, 20]	-2,29	2,57	979
	[21, ∞[	-2,50	3,06	432
Un peu de retard	[1,5]	0,40	0,28	3 570
	[6, 10]	0,41	0,29	474
	[11, 15]	0,34	0,25	177
	[16, 20]	0,41	0,27	104
	[21, ∞[	0,32	0,23	56
Beaucoup de retard	[1,5]	3,65* <sup>3,4</sup>	4,06	3 158
	[6, 10]	3,29	3,62	418
	[11, 15]	2,48* <sup>1</sup>	1,80	97
	[16, 20]	2,71* <sup>1</sup>	3,73	69
	[21, ∞[	4,03	5,28	31

A.6 Écart d'arrivée des bons de commande selon le nombre de palettes et divisé selon les trois variables dépendantes

Variabiles	Nombre palettes	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	[1,15]	-2,20*	2,88	13 289
	[16, 30]	-2,37*	2,93	8 816
	[31, 45]	-2,93*	3,34	3 658
	[46, ∞[	-3,11*	3,55	983
Un peu de retard	[1,15]	0,41	0,28	2 473
	[16, 30]	0,38	0,29	1 264
	[31, 45]	0,39	0,27	510
	[46, ∞[	0,36	0,26	134
Beaucoup de retard	[1,15]	3,24*	3,56	2 133
	[16, 30]	3,78*	4,08	1 061
	[31, 45]	4,05*	4,71	437
	[46, ∞[	5,15*	5,72	142

A.7 Écart d'arrivée des bons de commande selon le jour de la semaine du rendez-vous et divisé selon les trois variables dépendantes

Sous-catégories	Jour de la semaine	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Dimanche	-2,35	3,46	2 427
	Lundi	-2,38	2,92	3 862
	Mardi	-2,35	3,05	4 608
	Mercredi	-2,49	2,99	4 630
	Jeudi	-2,51	3,06	4 490
	Vendredi	-2,33	2,82	4 001
	Samedi	-2,22*	2,74	2 728
Un peu de retard	Dimanche	0,36*	0,27	341
	Lundi	0,39	0,28	698
	Mardi	0,38	0,28	777
	Mercredi	0,39	0,28	709
	Jeudi	0,40	0,28	716
	Vendredi	0,40	0,28	681
	Samedi	0,43*	0,29	459
Beaucoup de retard	Dimanche	5,44*	6,88	307
	Lundi	3,44	3,58	534
	Mardi	3,39	3,54	673
	Mercredi	3,28	3,14	628
	Jeudi	3,39	3,36	627
	Vendredi	3,03	2,62	577
	Samedi	4,01	5,14	427

A.8 Écart d'arrivée des bons de commande selon le mois de l'année et divisé selon les trois variables dépendantes

Sous-catégories	Mois de l'année	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Janvier	-2,36	2,97	1 801
	Février	-2,48	3,13	1 883
	Mars	-2,60* <sup>8,9,10</sup>	3,10	2 188
	Avril	-2,63* <sup>8,9,10</sup>	3,17	2 183
	Mai	-2,58* <sup>8,9,10</sup>	3,21	2 175
	Juin	-2,44	3,05	2 294
	Juillet	-2,31	3,01	2 148
	Août	-2,17* <sup>3,4,5</sup>	2,68	2 886
	Septembre	-2,14* <sup>3,4,5</sup>	2,66	2 758
	Octobre	-2,22* <sup>3,4,5</sup>	2,92	2 334
	Novembre	-2,49	3,16	2 238
	Décembre	-2,43	3,04	1 858
Un peu de retard	Janvier	0,41	0,28	285
	Février	0,39	0,28	302
	Mars	0,40	0,27	338
	Avril	0,39	0,28	318
	Mai	0,41	0,28	359
	Juin	0,42	0,28	372
	Juillet	0,37	0,27	345
	Août	0,40	0,29	464
	Septembre	0,38	0,28	472
	Octobre	0,39	0,28	423
	Novembre	0,39	0,29	372
	Décembre	0,39	0,28	331
Beaucoup de retard	Janvier	3,25	3,47	254
	Février	3,18	3,72	238
	Mars	3,76	4,68	294
	Avril	4,14*	4,38	364
	Mai	3,66	3,98	375
	Juin	3,80	4,00	353
	Juillet	3,41	3,87	280
	Août	3,44	3,99	406
	Septembre	2,84*	2,84	353
	Octobre	3,69	4,45	281
	Novembre	3,53	3,89	274
	Décembre	3,87	4,02	301

A.9 Écart de début de déchargement des bons de commande divisé selon les trois sous-catégories des deux acteurs

Comportement fournisseur (arrivée)	Comportement entrepôt (début)	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Tous	Tous	0,74	2,75	34 900
	Respect du rendez-vous	-1,12	2,13	12 844
	Un peu de retard	0,59	0,22	8 928
	Beaucoup de retard	2,72	2,75	13 128
Respect du rendez-vous	Respect du rendez-vous	-1,24	2,14	12 555
	Un peu de retard	0,54	0,22	6 399
	Beaucoup de retard	2,71	2,69	7 792
Un peu de retard	Respect du rendez-vous	0,18	0,06	179
	Un peu de retard	0,61	0,21	1 432
	Beaucoup de retard	2,52	2,50	2 770
Beaucoup de retard	Respect du rendez-vous	0,19	0,07	110
	Un peu de retard	0,62	0,21	1 097
	Beaucoup de retard	2,95	3,14	2 566

A.10 Écart de début de déchargement des bons de commande selon le type de fournisseur et divisé selon les trois sous-catégories des deux acteurs

Comportement fournisseur (arrivée)	Comportement entrepôt (début)	Type de fournisseur	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Respect du rendez-vous	A	-1,47*	2,16	6020
		B	-1,72*	2,28	2874
		C	-1,97*	2,81	938
	Un peu de retard	A	0,46	0,28	5482
		B	0,45	0,28	2710
		C	0,48*	0,28	930
	Beaucoup de retard	A	2,63	2,48	4908
		B	2,80	2,84	2002
		C	3,07	3,39	882
Un peu de retard	Respect du rendez-vous	A	0,18	0,06	124
		B	0,19	0,05	35
		C	0,19	0,06	20
	Un peu de retard	A	0,63*	0,22	811
		B	0,60	0,22	459
		C	0,59	0,21	162
	Beaucoup de retard	A	2,56	2,50	1722
		B	2,47	2,68	710
		C	2,46	2,10	338
Beaucoup de retard	Respect du rendez-vous	A	0,19	0,06	52
		B	0,19	0,07	41
		C	0,18	0,08	17
	Un peu de retard	A	0,62	0,21	605
		B	0,63	0,21	356
		C	0,65	0,21	136
	Beaucoup de retard	A	3,01	3,31	1481
		B	2,85	2,81	768
		C	2,97	3,12	317

A.11 Écart de début de déchargement des bons de commande selon le quart de travail où le déchargement est débuté et divisé selon les trois sous-catégories des deux acteurs

Comportement fournisseur (arrivée)	Comportement entrepôt (début)	Quart de travail	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Respect du rendez-vous	Jour	-1,07	1,83	10 559
		Soir	-1,45	3,27	1 015
		Nuit	-2,97*	2,89	981
	Un peu de retard	Jour	0,59	0,22	5 328
		Soir	0,60	0,21	825
		Nuit	0,58	0,21	246
	Beaucoup de retard	Jour	2,54*	2,75	5 460
		Soir	2,95*	1,94	1 911
		Nuit	4,31*	4,00	421
Un peu de retard	Respect du rendez-vous	Jour	0,18	0,06	145
		Soir	0,19	0,05	28
		Nuit	0,18	0,04	6
	Un peu de retard	Jour	0,61*	0,21	1 081
		Soir	0,65*	0,22	263
		Nuit	0,56*	0,19	88
	Beaucoup de retard	Jour	2,31*	2,67	1 693
		Soir	2,64	1,48	937
		Nuit	4,29	4,37	140
Beaucoup de retard	Respect du rendez-vous	Jour	0,19	0,66	70
		Soir	0,18	0,73	30
		Nuit	0,20	0,68	10
	Un peu de retard	Jour	0,61	0,21	689
		Soir	0,66*	0,20	335
		Nuit	0,61	0,20	73
	Beaucoup de retard	Jour	3,18*	4,21	1 117
		Soir	2,60*	1,57	1 208
		Nuit	3,73*	3,01	241

A.12 Écart de début de déchargement des bons de commande selon le type de dépilage et divisé selon les trois sous-catégories des deux acteurs

Comportement fournisseur (arrivée)	Comportement entrepôt (début)	Type de dépilage	Moyenne	Écart-type	Fréquence	
Respect du rendez-vous	Respect du rendez-vous	1	-1,07*	2,08	6 525	
		2	-1,44*	2,16	5 546	
		3	-1,40*	2,48	484	
	Un peu de retard	Un peu de retard	1	0,59	0,22	3 664
			2	0,60	0,22	2 377
			3	0,60	0,21	358
	Beaucoup de retard	Beaucoup de retard	1	2,67	2,69	3 833
			2	2,80*	2,77	3 428
			3	2,52	2,21	531
Un peu de retard	Respect du rendez-vous	1	0,18	0,05	106	
		2	0,19	0,06	64	
		3	0,16	0,09	9	
	Un peu de retard	Un peu de retard	1	0,60	0,21	856
			2	0,62	0,22	471
			3	0,65	0,22	105
	Beaucoup de retard	Beaucoup de retard	1	2,50	2,42	1 430
			2	2,62	2,78	1 107
			3	2,21	1,29	233
Beaucoup de retard	Respect du rendez-vous	1	0,18	0,65	55	
		2	0,19	0,07	50	
		3	0,20	0,06	5	
	Un peu de retard	Un peu de retard	1	0,62	0,21	531
			2	0,63	0,22	520
			3	0,66	0,20	46
	Beaucoup de retard	Beaucoup de retard	1	2,92	3,11	1 158
			2	3,06	3,27	1 245
			3	2,46	2,09	163

A.13 Écart de début de déchargement des bons de commande selon le nombre de lignes et divisé selon les trois sous-catégories des deux acteurs

Comportement du fournisseur (arrivée)	Comportement de l'entrepôt (début)	Nombre lignes	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Respect du rendez-vous	[1,5]	-1,31*	2,20	9 953
		[6, 10]	-1,09	1,98	1 437
		[11, 15]	-0,91	1,77	587
		[16, 20]	-0,95	1,48	402
		[21, ∞[	-0,69*	2,07	176
	Un peu de retard	[1,5]	0,59	0,22	4 786
		[6, 10]	0,59	0,22	851
		[11, 15]	0,59	0,22	403
		[16, 20]	0,59	0,21	238
		[21, ∞[	0,56	0,21	121
	Beaucoup de retard	[1,5]	2,84	2,93	5 921
		[6, 10]	2,31	1,66	950
		[11, 15]	2,34	1,81	447
		[16, 20]	2,22	1,55	339
		[21, ∞[	2,35	1,50	135
Un peu de retard	Respect du rendez-vous	[1,5]	0,18	0,05	147
		[6, 10]	0,17	0,07	21
		[11, 15]	0,21	0,04	6
		[16, 20]	0,18	0,10	5
		[21, ∞[	-	-	0
	Un peu de retard	[1,5]	0,61	0,21	1 191
		[6, 10]	0,62	0,21	128
		[11, 15]	0,57	0,23	64
		[16, 20]	0,66	0,20	34
		[21, ∞[	0,67	0,24	15
	Beaucoup de retard	[1,5]	2,59	2,68	2 232
		[6, 10]	2,26	1,70	325
		[11, 15]	2,40	1,50	107
		[16, 20]	2,25	1,09	65
		[21, ∞[	1,99	0,92	41
Beaucoup de retard	Respect du rendez-vous	[1,5]	0,19	0,07	103
		[6, 10]	0,23	0	1
		[11, 15]	0,19	0,06	2
		[16, 20]	0,22	0,03	3
		[21, ∞[	0,17	0	1
	Un peu de retard	[1,5]	0,63	0,21	935
		[6, 10]	0,62	0,21	112
		[11, 15]	0,64	0,23	20
		[16, 20]	0,58	0,24	22
		[21, ∞[	0,58	0,22	8
	Beaucoup de retard	[1,5]	3,04	3,30	2 120
		[6, 10]	2,70	2,38	305
		[11, 15]	2,53	2,31	75
		[16, 20]	2,14	1,04	44
		[21, ∞[	1,85	0,90	22

A.14 Écart de début de déchargement des bons de commande selon le nombre de palettes et divisé selon les trois sous-catégories des deux acteurs

Comportement du fournisseur (arrivée)	Comportement de l'entrepôt (début)	Nombre palettes	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Respect du rendez-vous	[1, 15]	-1,23	2,01	7 174
		[16, 30]	-1,19	2,18	3 602
		[31, 45]	-1,32	2,34	1 345
		[46, ∞[	-1,67	3,00	434
	Un peu de retard	[1, 15]	0,58	0,22	3 162
		[16, 30]	0,60	0,22	2 195
		[31, 45]	0,61	0,22	828
		[46, ∞[	0,60	0,22	214
	Beaucoup de retard	[1, 15]	2,36*	2,07	2 953
		[16, 30]	2,90	2,95	3 019
		[31, 45]	3,06	3,22	1 485
		[46, ∞[	2,62	2,19	335
Un peu de retard	Respect du rendez-vous	[1, 15]	0,18	0,05	138
		[16, 30]	0,19	0,06	28
		[31, 45]	0,17	0,89	13
		[46, ∞[	-	-	0
	Un peu de retard	[1, 15]	0,60	0,22	959
		[16, 30]	0,63	0,21	323
		[31, 45]	0,65	0,20	113
		[46, ∞[	0,63	0,22	37
	Beaucoup de retard	[1, 15]	2,22*	1,95	1 376
		[16, 30]	2,69	2,71	913
		[31, 45]	3,16	3,31	384
		[46, ∞[	2,72	3,04	97
Beaucoup de retard	Respect du rendez-vous	[1, 15]	0,19	0,62	75
		[16, 30]	0,17	0,08	22
		[31, 45]	0,18	0,09	9
		[46, ∞[	0,19	0,03	4
	Un peu de retard	[1, 15]	0,62	0,21	737
		[16, 30]	0,63	0,21	246
		[31, 45]	0,63	0,23	83
		[46, ∞[	0,65	0,22	31
	Beaucoup de retard	[1, 15]	2,55*	2,70	1 321
		[16, 30]	3,26	3,10	793
		[31, 45]	3,69	4,17	345
		[46, ∞[	3,30	3,81	107

A.15 Écart de début de déchargement des bons de commande selon le jour de la semaine et divisé selon les trois sous-catégories des deux acteurs

Comportement du fournisseur (arrivée)	Comportement de l'entrepôt (début)	Jour de la semaine	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Respect du rendez-vous	Respect du rendez-vous	Dimanche	-1,18* <sup>1,2,3,4,5</sup>	2,72	834
		Lundi	-1,43	2,41	1 940
		Mardi	-1,23	2,10	2 107
		Mercredi	-1,26	1,94	2 229
		Jeudi	-1,23	1,93	2 248
		Vendredi	-1,20	1,80	2 018
		Samedi	-1,11* <sup>2,3,4,5</sup>	2,55	1 179
	Un peu de retard	Dimanche	0,60	0,22	754
		Lundi	0,59	0,22	884
		Mardi	0,60	0,22	1 066
		Mercredi	0,58	0,22	1 003
		Jeudi	0,58	0,21	1 061
		Vendredi	0,59	0,22	988
		Samedi	0,61	0,22	643
	Beaucoup de retard	Dimanche	2,73	3,17	853
		Lundi	2,39* <sup>3,4,6</sup>	2,11	998
		Mardi	2,65	2,53	1 408
		Mercredi	2,80	2,68	1 370
		Jeudi	2,91	3,15	1 237
		Vendredi	2,71	2,72	1 017
		Samedi	2,73	2,27	909
Un peu de retard	Respect du rendez-vous	Dimanche	0,15	0,10	8
		Lundi	0,16	0,08	20
		Mardi	0,19	0,06	32
		Mercredi	0,19	0,03	21
		Jeudi	0,18	0,05	33
		Vendredi	0,19	0,05	41
		Samedi	0,18	0,06	24
	Un peu de retard	Dimanche	0,66	0,21	114
		Lundi	0,61	0,22	246
		Mardi	0,61	0,21	227
		Mercredi	0,61	0,20	221
		Jeudi	0,60	0,22	224
		Vendredi	0,62	0,21	271
		Samedi	0,61	0,22	129
	Beaucoup de retard	Dimanche	3,27	4,40	228
		Lundi	2,27	1,61	417
		Mardi	2,40	2,04	508
		Mercredi	2,71	2,54	463
		Jeudi	2,40	2,24	464
		Vendredi	2,57	2,91	390
		Samedi	2,36	1,78	300
Beaucoup de retard	Respect du rendez-vous	Dimanche	0,17	0,08	6
		Lundi	0,17	0,08	16
		Mardi	0,21	0,04	20
		Mercredi	0,18	0,08	16
		Jeudi	0,20	0,06	21
		Vendredi	0,17	0,08	19
		Samedi	0,20	0,06	12
	Un peu de retard	Dimanche	0,63	0,21	92
		Lundi	0,62	0,21	159
		Mardi	0,63	0,21	178
		Mercredi	0,63	0,21	167
		Jeudi	0,60	0,21	189
		Vendredi	0,63	0,21	187
		Samedi	0,63	0,21	125
	Beaucoup de retard	Dimanche	4,24*	5,08	219
		Lundi	2,35	2,05	357
		Mardi	2,81	2,81	459
		Mercredi	3,07	3,10	451
		Jeudi	3,12	3,28	422
		Vendredi	2,57	2,53	395
		Samedi	3,09	3,15	263

A.16 Écart de début de déchargement des bons de commande selon le mois de l'année et divisé selon les trois sous-catégories des deux acteurs

Comportement du fournisseur (arrivée)	Comportement de l'entrepôt (début)	Mois de l'année	Moyenne	Écart-type	Fréquence	
Respect du rendez-vous	Respect du rendez-vous	Janvier	-1,14	2,04	904	
		Février	-1,38	2,50	861	
		Mars	-1,48* <sup>9,10,11</sup>	2,02	1 011	
		Avril	-1,36* <sup>9,10,11</sup>	2,18	1 030	
		Mai	-1,38* <sup>9,10,11</sup>	2,05	1 036	
		Juin	-1,36* <sup>9,10,11</sup>	2,02	1 134	
		Juillet	-1,36	2,60	1 103	
		Août	-1,23	2,13	1 385	
		Septembre	1,03* <sup>3,4,5,6</sup>	2,06	1 329	
		Octobre	-1,03* <sup>3,4,5,6</sup>	1,76	976	
		Novembre	-1,09* <sup>3,4,5,6</sup>	2,04	983	
		Décembre	-1,23	2,17	803	
	Un peu de retard	Un peu de retard	Janvier	0,58	0,22	441
			Février	0,59	0,23	450
			Mars	0,57	0,22	507
			Avril	0,59	0,21	473
			Mai	0,59	0,21	507
			Juin	0,59	0,22	508
			Juillet	0,60	0,22	498
			Août	0,60	0,22	746
			Septembre	0,61	0,22	731
			Octobre	0,59	0,22	626
			Novembre	0,62	0,22	493
			Décembre	0,59	0,22	419
	Beaucoup de retard	Beaucoup de retard	Janvier	2,30*	2,04	456
			Février	2,92	3,27	572
			Mars	2,96	3,19	670
			Avril	3,21	3,47	680
			Mai	2,72	2,52	632
			Juin	2,75	2,57	652
			Juillet	2,29	1,75	547
			Août	2,30	1,74	755
			Septembre	2,21*	1,77	698
			Octobre	2,42	2,01	732
			Novembre	2,89	2,88	762
			Décembre	3,48*	3,67	636
Un peu de retard	Respect du rendez-vous	Janvier	0,20	0,04	11	
		Février	0,19	0,04	9	
		Mars	0,21	0,03	14	
		Avril	0,20	0,05	12	
		Mai	0,15	0,04	6	
		Juin	0,20	0,05	15	
		Juillet	0,16	0,07	15	
		Août	0,18	0,06	25	
		Septembre	0,18	0,05	19	
		Octobre	0,17	0,08	20	
		Novembre	0,16	0,07	16	
		Décembre	0,19	0,04	17	
	Un peu de retard	Un peu de retard	Janvier	0,59	0,23	112
			Février	0,64	0,22	88
			Mars	0,61	0,22	120
			Avril	0,64	0,22	91
			Mai	0,62	0,19	121
			Juin	0,61	0,20	115

		Juillet	0,61	0,21	133
		Août	0,62	0,22	172
		Septembre	0,64	0,21	158
		Octobre	0,59	0,24	127
		Novembre	0,60	0,21	95
		Décembre	0,60	0,23	100
	Beaucoup de retard	Janvier	2,18	1,27	162
		Février	2,75	2,56	205
		Mars	2,84	3,71	204
		Avril	2,56	2,71	215
		Mai	2,53	2,52	232
		Juin	2,60	2,73	242
		Juillet	2,16	1,97	197
		Août	2,32	1,98	267
		Septembre	1,95	0,87	295
		Octobre	2,56	2,61	276
		Novembre	2,96	3,07	261
		Décembre	2,94	2,66	214
Beaucoup de retard	Respect du rendez-vous	Janvier	0,19	0,04	10
		Février	0,20	0,05	6
		Mars	0,22	0,04	7
		Avril	0,19	0,06	12
		Mai	0,16	0,07	6
		Juin	0,23	0,03	9
		Juillet	0,17	0,08	13
		Août	0,19	0,07	17
		Septembre	0,19	0,08	10
		Octobre	0,17	0,09	11
		Novembre	0,11	0,09	5
		Décembre	0,20	0,04	4
	Un peu de retard	Janvier	0,57	0,20	89
		Février	0,63	0,22	67
		Mars	0,66	0,21	64
		Avril	0,65	0,20	92
		Mai	0,63	0,20	100
		Juin	0,65	0,20	92
		Juillet	0,65	0,19	94
		Août	0,60	0,22	148
		Septembre	0,61	0,21	106
		Octobre	0,63	0,22	81
		Novembre	0,62	0,23	86
		Décembre	0,61	0,23	78
	Beaucoup de retard	Janvier	2,93	3,09	155
		Février	3,25	3,42	165
		Mars	3,58* <sup>7,8,9</sup>	4,16	223
		Avril	3,69* <sup>7,8,9</sup>	3,98	260
		Mai	3,06	3,56	269
		Juin	2,84	2,70	252
		Juillet	2,21* <sup>3,4,12</sup>	1,70	173
		Août	2,35* <sup>3,4,12</sup>	1,87	241
		Septembre	2,37* <sup>3,4,12</sup>	2,34	237
		Octobre	2,59	2,56	189
		Novembre	2,93	2,86	183
		Décembre	3,48* <sup>7,8,9</sup>	3,58	219

A.17 Écart du temps de déchargement des bons de commande qui n'ont pas respecté le temps prévu selon le quart de travail du déchargement

Variabes	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Tous	-17,22	33,09	34 900
Non-respect du temps prévu (Écart positif)	25,18	29,90	6 898

A.18 Écart du temps de déchargement des bons de commande qui n'ont pas respecté le temps prévu selon le quart de travail du déchargement

Variabes	Fournisseur	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Non-respect du temps prévu (Écart positif)	Jour	23,60*	27,56	5 373
	Soir	27,90	30,54	1 122
	Nuit	38,59	48,40	403

A.19 Écart du temps de déchargement des bons de commande qui n'ont pas respecté le temps prévu selon le jour de la semaine

Variabes	Fournisseur	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Non-respect du temps prévu (Écart positif)	Dimanche	21,27	24,93	699
	Lundi	25,26	30,75	927
	Mardi	28,12	34,78	1 210
	Mercredi	25,69	28,87	1 136
	Jeudi	26,38	30,29	1 177
	Vendredi	26,38	28,30	968
	Samedi	23,43	26,92	781

A.20 Écart du temps de déchargement des bons de commande qui n'ont pas respecté le temps prévu selon le mois de l'année

Variabes	Fournisseur	Moyenne	Écart-type	Fréquence
Non-respect du temps prévu (Écart positif)	Janvier	24,92	28,73	486
	Février	26,11	32,02	525
	Mars	25,25	29,23	581
	Avril	23,86	28,04	551
	Mai	27,25	33,50	610
	Juin	25,03	29,06	643
	Juillet	23,72	27,85	511
	Août	23,22	28,96	685
	Septembre	21,46	23,24	590
	Octobre	25,11	30,26	590
	Novembre	27,40	33,29	636
	Décembre	29,36	32,43	490

## Annexe B

### B.1 Corrélation des attributs Quart de travail et Type de dépilage

<b>Quart de travail/Dépilage</b>				
Quart	Type dépilage			Total
	1	2	3	
Jour	13415	11482	1245	26142
	74%	78%	64%	75%
Soir	3489	2518	545	6552
	19%	17%	28%	19%
Nuit	1254	808	144	2206
	7%	5%	7%	6%
	100%	100%	100%	100%
Total	18158	14808	1934	34900

### B.2 Corrélation des attributs Fournisseur et Type de dépilage

<b>Fournisseur/Dépilage</b>				
Fournisseur	Dépilage			Total
	1	2	3	
A	10785	8944	1476	21205
	59%	60%	76%	61%
B	5422	4249	284	9955
	30%	29%	15%	29%
C	1951	1615	174	3740
	11%	11%	9%	11%
	100%	100%	100%	100%
Total	18158	14808	1934	34900

### B.3 Corrélation des attributs Quart de travail et Type de fournisseur

<b>Quart de travail/Fournisseur</b>				
Fournisseur				
Quart	A	B	C	Total
Jour	15886	7657	2599	26142
	75%	77%	69%	75%
Soir	3895	1723	934	6552
	18%	17%	25%	19%
Nuit	1424	575	207	2206
	7%	6%	6%	6%
	100%	100%	100%	100%
Total	21205	9955	3740	34900

### B.4 Corrélation des attributs Nombre de lignes et type de dépilage

<b>Nombre de lignes/Dépilage</b>				
Type dépilage				
C_lignes	1	2	3	Total
1	15267	11177	944	27388
	84%	75%	49%	78%
6	1695	2128	307	4130
	9%	14%	16%	12%
11	583	949	179	1711
	3%	6%	9%	5%
16	362	403	387	1152
	2%	3%	20%	3%
21	251	151	117	519
	1%	1%	6%	1%