

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

CONCEPTION D'UN OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION POUR L'ENTREPÔT
MONTRÉALAIS D'AIR CANADA CARGO À PARTIR D'UN MODÈLE DE
SIMULATION

YESSIRATH-LAI DAMALA
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUE ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE INDUSTRIEL)
DÉCEMBRE 2012

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

CONCEPTION D'UN OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION POUR L'ENTREPÔT
MONTRÉALAIS D'AIR CANADA CARGO À PARTIR D'UN MODÈLE DE SIMULATION

présenté par : DAMALA Yessirath-Lai

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. BAPTISTE Pierre, Doct., président

M. GAMACHE Michel, ing., Ph. D., directeur de recherche

Mme RIOPEL Diane, ing., Docteure., codirectrice de recherche

M. PAGÉ Jean-François, M. Sc. A., membre

DÉDICACE

*Je dédie ce mémoire à toute ma famille et
principalement mon père Damala Iyanda et ma
mère Olaofe Abeni*

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce projet a été effective grâce à l'implication des employés de l'entrepôt montréalais d'Air Canada Cargo. De plus, l'appui des analystes en recherche opérationnelle d'Air Canada et des membres du groupe d'amélioration continue du service de fret a permis de réaliser le projet dans un environnement interactif. Ainsi, je tiens à remercier tous les employés de la compagnie qui ont contribué de près ou de loin à ce projet. Pour finir, j'adresse mes sincères remerciements à mes directeurs de recherche Michel Gamache et Diane Riopel qui ont été d'un soutien inconditionnel tout au long du projet. Je ne peux pas clore cette section sans mentionner le MITACS, qui a financé ce projet conjointement avec Air Canada Cargo en me donnant l'opportunité d'effectuer ma maîtrise sur un cas réel.

RÉSUMÉ

Le domaine du transport de marchandises est rempli de défis auxquels doivent faire face les transporteurs au quotidien. Compte tenu du nombre sans cesse croissant de marchandises transportées, les compagnies doivent s'assurer que leurs systèmes permettent de répondre à la demande tout en respectant les normes en vigueur. C'est dans ce contexte, que s'inscrit le projet de conception d'un outil d'aide à la décision pour Air Canada Cargo. Ce dernier offre des services de fret à l'exportation et à l'importation. Les marchandises transitant par l'entrepôt sont classées selon huit catégories (les solutions) et peuvent être expédiées selon deux niveaux de services (Priorité 1 et Standard). L'objectif est de fournir un outil qui contribuera aux prises de décisions pour l'entrepôt montréalais d'Air Canada Cargo. L'outil permet de tester des changements dans les processus de l'entrepôt à l'aide de la simulation. La problématique consiste à développer un outil à la fois flexible qui tient compte des contraintes opérationnelles liées au traitement des marchandises.

La méthode préconisée pour cette étude est en trois étapes. La première étape du travail consiste à représenter les processus d'affaires de l'entrepôt à l'exportation et à l'importation. La seconde étape consiste à construire le modèle de simulation de l'entrepôt avec le logiciel ARENA. Le défi à cette étape est l'agrégation des paramètres de caractérisation des marchandises à l'intrant sous la forme de lois de probabilités en considérant toutes les particularités liées aux données. Les résultats de la simulation servent à générer des valeurs pour les indicateurs de performance préétablis. Ainsi, l'utilisateur de l'outil peut modifier les données entrantes d'un scénario et observer les résultats à partir d'une interface sous un format de fichiers Excel. À la dernière étape, une analyse de scénarios est effectuée. Le scénario de base correspond à la situation de l'entrepôt au moment de la collecte de données. Le nouveau scénario correspond à la situation de l'entrepôt suite à l'ajout de nouvelles opérations dans les processus à l'exportation. En effet, actuellement toutes les marchandises expédiées sont inspectées (rayons X

ou manuellement) avant d'être embarquées sur un avion. Les clients détenant une accréditation de Transport Canada sont exemptés de cette inspection.

Les indicateurs de performance considérés pour l'analyse des scénarios sont de deux catégories : les temps d'opération liés à l'interaction avec les clients et les temps de traitement des marchandises. Ces deux données sont collectées pour les deux niveaux de services offerts aux clients. L'objectif de l'analyse de scénarios est de déterminer l'impact du nouveau processus sur les temps d'opération. Ainsi, il est possible de fournir des statistiques sur les délais d'expédition des marchandises pour chaque niveau de services.

Les résultats de la simulation obtenus pour la situation initiale sont très proches de la réalité. À l'exportation, 96 % des marchandises Priorité 1 sont acheminées vers l'aéroport avant l'heure de départ des vols. De même, 90 % des marchandises Standards sont expédiées avant l'heure de départ des vols. Des résultats similaires sont obtenus à l'importation. Le nouveau processus a un impact non négligeable sur les délais de disponibilité des marchandises. En conservant les mêmes heures d'arrivée des clients et les mêmes heures de départ des marchandises, moins de 60% des marchandises sont livrées à l'aéroport dans les délais.

À l'exportation, les temps d'opération liés à l'interaction avec les clients expédiant des marchandises dont le service est de type Priorité 1 est en moyenne de 10 min dans l'entrepôt tandis que pour un client expédiant des marchandises dont le service est de type Standard il est de 30 min dans l'entrepôt. À l'importation, la durée du processus des clients est de 32 min en moyenne pour tous les services. Les changements apportés au nouveau scénario ne concernent que les processus d'exportation. Suite à la simulation du nouveau scénario, le temps d'opération des clients à l'exportation a augmenté de 20 min pour le service Priorité 1 et de 50 min pour le service Standard.

Un système logistique est représenté par deux types de réseau : le réseau des flots de produits et le réseau des flots d'information. Le modèle de simulation tel que conçu représente le réseau des flots de produits à l'intérieur de l'entrepôt. Les processus d'affaires servent à décrire l'autre réseau. La compréhension des deux réseaux à la base du système logistique de l'entrepôt

montréalais d'Air Canada Cargo permet de prendre de meilleures décisions en vue de son amélioration. L'originalité de l'approche adoptée dans la présente étude est de permettre à l'utilisateur d'avoir accès à toutes les informations liées à chacun des deux réseaux lors des prises de décisions.

ABSTRACT

The domain of goods transportation is full of challenges that carriers must daily face. Given the increasing number of transported goods, companies must ensure that their systems can meet demands while respecting current standards. It is in this context that fits the project of designing a decision tool support for Air Canada Cargo. The company provides freight services for export and import. Goods that go through the warehouse are classified into eight categories (solutions) and can be shipped in two service levels (Standard and Priority 1). The aim of the project is to provide a tool which will help in making decisions for the Montreal's warehouse of Air Canada Cargo. The challenge lies in developing a flexible tool that takes into account operational constraints related to the goods processed.

The method used for this study is in three steps. The first one is to represent the business processes of the warehouse at export and at import. The second step is to build the simulation model of the warehouse with ARENA software. The challenge at this step is the aggregation of characterization parameters of goods input with probability laws taking into account all the particularities of the data. The simulation results are used to generate values for the predetermined performance indicators. Thus, the user can modify the data input for the scenario and view the results in Excel files. A scenario analysis is performed at the last step. The baseline scenario corresponds to the situation of the warehouse at the time of data collection. The new scenario corresponds to the situation of the warehouse due to the addition of new operations in the export process. Indeed, currently all shipments are inspected (X-ray or manually) before being loaded on an aircraft. Customers holding a certification from Transport Canada are exempt from this inspection.

Performance indicators considered in the scenario analysis are divided into two categories: operating time for customers and for goods. Those two data are collected for both available service levels. The purpose of the scenario analysis is to determine the impact of the

new process on operating time. Thus, it is possible to provide statistics on the capacity of the warehouse to meet the delivery times for each service level.

The simulation results obtained for the initial conditions are very close to reality. For export, 96 % of Priority 1 goods are transported to the airport before the flight departure time. Similarly, 90 % of Standard goods are available at the airport before the departure time of the flight. Similar results are obtained for import. The new process has a significant impact on the tender of goods. Maintaining the same arrival times for customers and the same hours of departure for the goods, less than 60 % of the goods are delivered to the airport on time.

Regarding the clients operating time, for export, a client shipping Priority 1 goods, spends an average of 10 min in the warehouse while a client shipping Standard goods, spends 30 min in the warehouse. At import, a client process time is 32 min for all services. The changes made for the new scenario, concern the export process only. After the simulation of the new scenario, the operating time of clients at export increased by 20 min for service Priority 1 and 50 min for the Standard service.

A logistics system is represented by two types of network : the network of goods flow and the network of information flows. The simulation model is designed for representing the flows of goods within the warehouse. Business processes are used to describe the other network. Understanding of both networks at the base of the logistics system of the warehouse of Air Canada Cargo at Montreal can make better decisions for its improvement. The originality of the approach taken in this study is to allow the user to have access to all information related to each network when making decisions.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	iii
REMERCIEMENTS	iv
RÉSUMÉ.....	v
ABSTRACT	viii
TABLE DES MATIÈRES	x
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
LISTE DES FIGURES.....	xvii
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xx
LISTE DES ANNEXES.....	xxi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : DESCRIPTION DU CONTEXTE.....	5
1.1 Air Canada Cargo.....	5
1.2 Activités d’exportation à l’entrepôt.....	12
1.3 Activités d’importation à l’entrepôt	16
1.4 Défis de l’entrepôt.....	20
1.5 Défis du projet.....	20
CHAPITRE 2 : REVUE DE LITTÉRATURE	23
2.1 Méthodes de simulation	23
2.2 Systèmes de transbordement	25
CHAPITRE 3 : CONCEPTION DE L’OUTIL.....	26
3.1 Analyse des données historiques.....	26
3.2 Analyse des données à l’exportation.....	26
3.2.1 Date de départ du vol, destinations et types d’avion.....	27
3.2.2 Solutions.....	30
3.2.3 Services	32

3.2.4	Unités de chargement	33
3.3	Analyse des données à l'importation	35
3.3.1	Date d'arrivée, origine et types d'avion	35
3.3.2	Unités de chargement	38
3.3.1	Solutions.....	39
3.3.2	Services	41
3.3.3	Destination finale	42
3.3.4	Délais de livraison des marchandises.....	43
3.4	Collecte de données temporelles	43
3.5	Fonctionnement de la simulation	45
CHAPITRE 4 : ANALYSE DES RÉSULTATS		52
4.1	Données de simulation et d'analyse	52
4.1.1	Paramètres de simulation	52
4.1.2	Résultats de simulation.....	53
4.2	Situation initiale	54
4.2.1	Analyse des résultats à l'exportation.....	54
4.2.2	Analyse des résultats à l'importation	61
4.3	Processus de sécurité.....	69
4.3.1	Analyse des temps d'opération des marchandises (processus de sécurité).....	70
4.3.2	Analyse des temps d'interaction avec les clients (processus de sécurité).....	77
4.4	Conclusion.....	78
CHAPITRE 5 : ANALYSE DE SCÉNARIOS.....		79
5.1	Scénario 1 : Ajout d'un employé au comptoir	79
5.1.1	Analyse des temps d'opération des marchandises à l'exportation (scénario 1).....	80
5.1.2	Analyse des temps d'interaction avec les clients (scénario 1)	84
5.1.3	Conclusion du scénario 1	85
5.2	Scénario 2 : Ajout d'un employé à la réception des marchandises sans ajout au comptoir	85

5.2.1	Analyse des temps d'opération des marchandises (scénario 2)	85
5.2.2	Analyse des temps d'interaction avec les clients (scénario 2)	90
5.2.3	Conclusion du scénario 2	91
5.3	Scénario 3 : Modification des arrivées de clients.....	91
5.3.1	Analyse des temps d'opération des marchandises (scénario 3)	92
5.3.2	Analyse des temps d'interaction avec les clients (scénario 3)	96
5.3.3	Conclusion du scénario 3	97
5.4	Conclusion.....	97
CONCLUSION		98
RÉFÉRENCES.....		100
ANNEXES		102

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Liste des solutions et des services	7
Tableau 1.2 : Liste des unités de chargement.....	8
Tableau 1.3 : Liste des unités de chargement (suite)	9
Tableau 1.4 : Combinaison d'unités de chargement et de types d'avion	10
Tableau 3.1 : Répartition des solutions par service à l'exportation	32
Tableau 3.2 : Répartition des solutions par service à l'importation.....	41
Tableau 3.3 : Répartition des solutions par destination finale	42
Tableau 3.4 : Concept de génération des clients	46
Tableau 3.5 : Concept de génération des vols.....	49
Tableau 4.1 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 à l'exportation	55
Tableau 4.2 : Délais de disponibilité à l'avion des marchandises Priorité 1 à l'exportation	55
Tableau 4.3 : Temps d'opération des marchandises Standard à l'exportation.....	57
Tableau 4.4 : Délai de disponibilité à l'avion des marchandises Standard à l'exportation.....	57
Tableau 4.5 : Temps d'opération des clients Priorité 1 à l'exportation	59
Tableau 4.6 : Temps d'opération des clients Standard à l'exportation	60
Tableau 4.7 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 à l'importation.....	61
Tableau 4.8 : Temps d'opération des marchandises Standard en vrac à l'importation.....	63
Tableau 4.9 : Temps d'opération des marchandises Standard en conteneur à l'importation	64
Tableau 4.10 : Temps d'opération des clients Priorité 1 à l'importation	66
Tableau 4.11 : Temps d'opération des clients Standard à l'importation.....	67
Tableau 4.12 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients accrédités.....	70
Tableau 4.13 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients accrédités.....	71
Tableau 4.14 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients accrédités	72

Tableau 4.15 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Standard pour les clients accrédités.....	73
Tableau 4.16 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients non-accrédités	74
Tableau 4.17 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients non-accrédités.....	75
Tableau 4.18 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients non-accrédités	75
Tableau 4.19 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Standard pour les clients non accrédités.....	76
Tableau 4.20 : Temps d'opération des clients Priorité 1 pour le nouveau scénario.....	77
Tableau 4.21 : Temps d'opération des clients Standard pour le nouveau scénario	78
Tableau 5.1 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients accrédités (scénario 1)	80
Tableau 5.2 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients accrédités (scénario 1).....	80
Tableau 5.3 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients accrédités (scénario 1).	81
Tableau 5.4 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Standard pour les clients accrédités (scénario 1).....	81
Tableau 5.5 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients non accrédités (scénario 1).....	82
Tableau 5.6 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients non accrédités (scénario 1).....	82
Tableau 5.7 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients non accrédités (scénario 1).....	83
Tableau 5.8 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité pour les clients non accrédités (scénario 1).....	83
Tableau 5.9 : Temps d'opération des clients Priorité 1 (scénario 1).....	84
Tableau 5.10 : Temps d'opération des clients Standard (scénario 1).....	84
Tableau 5.11 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients accrédités (scénario 2)	86

Tableau 5.12 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients accrédités (scénario 2).....	86
Tableau 5.13 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients accrédités (scénario 2)	87
Tableau 5.14 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Standard pour les clients accrédités (scénario 2).....	87
Tableau 5.15 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients non accrédités (scénario 2).....	88
Tableau 5.16 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients non accrédités (scénario 2).....	88
Tableau 5.17 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients non accrédités (scénario 2).....	89
Tableau 5.18 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Standard pour les clients non accrédités (scénario 2).....	89
Tableau 5.19 : Temps d'opération des clients Priorité 1 (scénario 2).....	90
Tableau 5.20 : Temps d'opération des clients Standard (scénario 2).....	90
Tableau 5.21 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients accrédités (scénario 3)	92
Tableau 5.22 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients accrédités (scénario 3).....	92
Tableau 5.23 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients accrédités (scénario 3)	92
Tableau 5.24 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Standard pour les clients accrédités (scénario 3).....	93
Tableau 5.25 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients non accrédités (scénario 3).....	94
Tableau 5.26 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients non accrédités (scénario 3).....	94

Tableau 5.27 : Temps d’opération des marchandises Standard des clients non accrédités (scénario 3).....	95
Tableau 5.28 : Délais de disponibilité à l’aéroport des marchandises Standard pour les clients non accrédités (scénario 3).....	95
Tableau 5.29 : Temps d’opération des clients Priorité 1 (scénario 3).....	96
Tableau 5.30 : Temps d’opération des clients Standard (scénario 3).....	96
Tableau A.1 : Récapitulatif des observations au comptoir	104
Tableau A.2: Récapitulatif des observations à la réception	104
Tableau A.3: Récapitulatif des observations à la consolidation des grosses marchandises.....	104
Tableau A.4 : Récapitulatif des observations à la consolidation des petites marchandises	105
Tableau A.5 : Récapitulatif des observations au « Breezeway»	105
Tableau A.6: Récapitulatif des observations des « grosses déconstruction »	106
Tableau A.7 : Récapitulatif des observations au comptoir.....	106
Tableau D.1 : Répartition des solutions par mois à l’exportation en %	115
Tableau E.1 : Répartition des solutions par types d’avion à l’exportation en %	116
Tableau F.1 : Répartition des solutions par mois à l’importation en %	117
Tableau G. 1 : Répartition des solutions par types d’avion à l’importation en %	118

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Étapes principales à l'exportation	14
Figure 1.2 : Étapes principales à l'importation	18
Figure 1.3 : Principe de l'outil de simulation	21
Figure 3.1 : Répartition du nombre de marchandises par mois à l'exportation	27
Figure 3.2 : Nombre de destinations offertes par mois à l'exportation	28
Figure 3.3 : Répartition des marchandises par jour à l'exportation	28
Figure 3.4 : Nombre de marchandises par heure et par mois à l'exportation	29
Figure 3.5 : Répartition des solutions à l'exportation en janvier	31
Figure 3.6 : Répartition des services par mois	32
Figure 3.7 : Répartition des principales unités de chargement par mois	33
Figure 3.8 : Répartition des principales unités de chargement par types d'avion	34
Figure 3.9 : Répartition des marchandises par mois à l'importation	35
Figure 3.10 : Nombre d'origines par mois à l'importation	36
Figure 3.11 : Répartition des marchandises par jour à l'importation	36
Figure 3.12 : Nombre de marchandises par heure et par mois à l'importation	37
Figure 3.13 : Répartition des principales unités de chargement par mois à l'importation	38
Figure 3.14 : Répartition des unités de chargement par types d'avion à l'importation	39
Figure 3.15 : Répartition des solutions à l'importation en janvier	40
Figure 3.16 : Répartition des services par mois à l'importation	41
Figure 3.17 : Proportion des marchandises en transit	42
Figure 3.18 : Temps d'opération moyens à l'exportation et à l'importation	44
Figure 3.19 : Fonctionnement de la simulation à l'exportation	48
Figure 3.20 : Fonctionnement de la simulation à l'importation	50
Figure 4.1 : Temps d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des marchandises Priorité 1	56

Figure 4.2 : Temps d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des marchandises Standard à l'exportation	58
Figure 4.3 : Temps d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des clients Priorité 1 à l'exportation	59
Figure 4.4 : Temps d'opération en fonction du temps d'arrivée des clients Standard à l'exportation	61
Figure 4.5 : Temps d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des marchandises Priorité 1 à l'importation.....	62
Figure 4.6 : Temps d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des marchandises Standard en vrac à l'importation.....	64
Figure 4.7 : Temps d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des marchandises Standard en conteneur à l'importation	65
Figure 4.8 : Délais d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des clients Priorité 1 à l'importation.....	67
Figure 4.9 : Délais d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des clients Standard à l'importation.....	68
Figure 4.10 : Délais des opérations au triage et à la réception pour les marchandises Priorité 1 des clients accrédités	71
Figure 4.11 : Délais des opérations à la réception pour les marchandises Standard des clients accrédités.....	73
Figure 4.12 : Délais des opérations à la réception pour les marchandises Priorité 1 des clients non accrédités.....	74
Figure 4.13 : Délais des opérations à la réception pour les marchandises Standard des clients non-accrédités	76
Figure B.1 : Processus d'affaires à l'exportation.....	107
Figure B.2 : Processus d'affaires à l'exportation (suite).....	108
Figure B.3 : Processus d'affaires à l'exportation (suite).....	109
Figure B.4 : Processus d'affaires à l'exportation (suite).....	110

Figure C.1 : Processus d'affaires à l'importation.....	111
Figure C.2 : Processus d'affaires à l'importation (suite)	112
Figure C.3 : Processus d'affaires à l'importation (suite)	113
Figure C.4 : Processus d'affaires à l'importation (suite)	114

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CDG	Aéroport de Paris Charles De Gaulle
FRA	Aéroport international de Francfort
LHR	Aéroport de Londres Heathrow
RFID	Radio frequency identification

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : MÉTHODOLOGIE DE TRAITEMENT DES DONNÉES.....	102
ANNEXE 2 : PROCESSUS D’AFFAIRES À L’EXPORTATION.....	107
ANNEXE 3 : PROCESSUS D’AFFAIRES À L’IMPORTATION.....	111
ANNEXE 4 : RÉPARTITION DES SOLUTIONS PAR MOIS À L’EXPORTATION.....	115
ANNEXE 5 : RÉPARTITION DES SOLUTIONS PAR TYPES D’AVION À L’EXPORTATION.....	116
ANNEXE 6 : RÉPARTITION DES SOLUTIONS PAR MOIS À L’IMPORTATION.....	117
ANNEXE 7 : RÉPARTITION DES SOLUTIONS PAR TYPES D’AVION À L’IMPORTATION.....	118

INTRODUCTION

Pour le *Council of Supply Chain Management* , la gestion logistique se définit comme :

«Logistics management activities typically include inbound and outbound transportation management, fleet management, warehousing, materials handling, order fulfillment, logistics network design, inventory management, supply/demand planning, and management of third party logistics services providers. (...) It is involved in all levels of planning and execution--strategic, operational and tactical. Logistics management is an integrating function, which coordinates and optimizes all logistics activities, as well as integrates logistics activities with other functions including marketing, sales manufacturing, finance, and information technology. » [1]

De par sa définition, on comprend aisément la place prépondérante qu'occupe la fonction logistique dans les décisions stratégiques au sein des entreprises depuis quelques décennies. La mondialisation des marchés exige des entreprises une meilleure maîtrise des flux de marchandises pour rester compétitives. Ainsi, le défi est d'assurer le déplacement des marchandises tout en respectant les contraintes de livraison et de réception autant en amont qu'en aval. Le transporteur doit respecter les délais de livraison et l'intégrité des marchandises, offrir des prix compétitifs et une diversité de services.

Le transport aérien est le mode de transport le plus prisé lorsque les délais de livraison sont très courts. Bien qu'il s'agisse du mode de transport le plus coûteux, le transport aérien permet aux entreprises d'élargir leur marché et de fournir une variété de services. Pour atteindre le client final, le transport aérien peut être combiné à d'autres modes de transports; notamment le transport routier. C'est dans ce contexte que s'inscrivent les activités du service de fret de la compagnie aérienne Air Canada : Air Canada Cargo.

Air Canada Cargo est le plus important fournisseur de services de fret au Canada. Cette division d'Air Canada assure le transport de marchandises à travers les cinq continents; soit plus

de 150 destinations. Air Canada Cargo dispose d'une certaine capacité de marchandises pouvant être transportée à partir des vols commerciaux. La capacité allouée au service cargo dépend du type d'avion, du nombre de passagers et de bagages à bord. Dans ce contexte, il est difficile de prévoir le volume et le poids des marchandises pouvant être expédiées. Ainsi, Air Canada Cargo doit régulièrement ajuster les besoins à la disponibilité réelle.

Air Canada Cargo possède des entrepôts dans différents aéroports à travers le monde. L'entrepôt de Montréal assure les services d'exportation et d'importation de marchandises via l'aéroport Pierre-Eliot-Trudeau. À l'exportation, le client se présente au comptoir avec des marchandises à expédier vers une autre destination. Celles-ci sont regroupées en unités de chargement puis transportées vers l'avion approprié. Dans ce cas, le client est l'élément déclencheur du processus. Inversement, à l'importation, l'avion représente l'élément déclencheur du processus. À l'arrivée, les unités de chargement sont déchargées de l'avion puis transportées vers l'entrepôt situé sur le site de l'aéroport. Par la suite, elles sont déconstruites à l'intérieur de l'entrepôt afin d'être mises à la disposition du client. L'entrepôt est conçu de telle sorte que les deux processus n'interagissent pas, sauf dans le cas de marchandises en transit. Les ressources ne sont pas partagées entre les deux processus. Plus précisément, l'entrepôt est composé de deux zones distinctes : la zone d'importation et la zone d'exportation.

Le nombre de marchandises qui sont traitées par l'entrepôt montréalais d'Air Canada Cargo est en croissance. De plus, la compagnie doit s'adapter constamment aux nouvelles réglementations liées au transport de marchandises. Au regard de tous ces changements, la simulation des activités à l'intérieur de l'entrepôt est un moyen pour l'entreprise d'évaluer leurs impacts sur ses processus. C'est dans cette optique qu'est né le besoin d'un outil de simulation des activités de l'entrepôt. Ce projet vient répondre aux besoins de l'entrepôt en fournissant un outil d'aide à la décision basé sur la simulation. De ce fait, le projet est un appui non négligeable à l'atteinte des objectifs de l'entrepôt, car il permet de tester de nouvelles procédures avant leur mise en œuvre. La problématique que soulève ce projet est la suivante : Compte tenu de la complexité des processus, sur quelle base concevoir un outil d'aide à la décision assez flexible pouvant s'adapter aux changements dans le secteur?

La problématique est centrée sur deux éléments principaux : ‘complexité des processus’ et ‘flexibilité’. La complexité du processus est aussi bien liée à la variété des solutions et des services offerts qu’à la richesse du parc aérien d’Air Canada. Des règles très strictes régissent les différents traitements effectués sur les marchandises. Par exemple, le traitement des produits radioactifs n’est pas le même que celui pour les animaux. Par ailleurs, lors de la consolidation des marchandises en unités de chargement, les agents doivent tenir compte du type d’avion pour le choix de l’unité de chargement. En fait, certaines unités de chargement ne peuvent pas être transportées par tous les avions. De plus, tel que mentionné plus haut, l’espace réellement disponible à bord des avions n’est connu qu’à très court terme, ainsi il est difficile de prévoir longtemps à l’avance l’affectation d’une marchandise à un vol avant le décollage. Face à cette complexité, l’outil doit être assez flexible afin de considérer les variabilités liées aux processus. Ainsi, les paramètres de l’outil (service, solution, unités de chargement, type d’avion, destination, horaire...) doivent être ajustables sans effectuer des modifications dans la structure de l’outil. Par exemple, il est connu que les heures de départ d’un vol sont variables au cours d’une semaine. Sur cette base, l’outil doit s’adapter aux horaires variables des vols sur lesquelles sont expédiées les marchandises. L’un des principaux défis est donc la prise en compte des principaux paramètres descriptifs d’un envoi pour la conception d’un outil flexible.

Différentes approches sont possibles pour ce type de problème. Pour répondre à la problématique posée précédemment, le projet est divisé en trois grandes étapes. La première étape consiste à se familiariser avec les activités de l’entrepôt à partir de la cartographie des processus d’affaires à l’importation et à l’exportation. Les processus d’affaires ont été représentés sur la base d’entrevues et d’observations réalisées sur le terrain. Ils ont par la suite été validés auprès de l’agent de liaison avec l’entrepôt. Les informations contenues dans les processus d’affaires servent à la réalisation de la deuxième étape. Cette deuxième étape consiste à construire le modèle de simulation de l’entrepôt à l’aide du logiciel de simulation ARENA. Les résultats générés par la simulation sont utilisés pour la troisième étape. La conception de l’outil d’aide à la décision représente la troisième étape. L’outil regroupe à la fois les paramètres intrants

qui sont utilisés pour la simulation et les paramètres extrants que sont les indicateurs de performance.

Les chapitres traités dans ce mémoire décrivent en détail toutes les étapes suivies pour la réalisation de ce projet. Le premier chapitre fournit au lecteur une description approfondie des processus. Il décrit le contexte d'étude ainsi que les termes spécifiques liés à l'industrie du transport aérien de marchandises. Le deuxième chapitre fournit une revue de littérature sur l'état de la recherche dans le domaine du transport des marchandises et les quais de transbordement. Le troisième chapitre est une description des différentes étapes liées à la conception de l'outil de simulation. Le quatrième chapitre présente les résultats obtenus pour la simulation des processus de l'entrepôt en 2011 ainsi que ceux obtenus pour la simulation des processus actuels. Le dernier chapitre présente un exemple d'utilisation de l'outil d'aide à la décision. Cet exemple mesure l'impact de certaines modifications sur la performance de l'entrepôt.

CHAPITRE 1 : DESCRIPTION DU CONTEXTE

1.1 Air Canada Cargo

Ce chapitre décrit le contexte de réalisation du projet. La première partie du chapitre fournit l'information pertinente à la compréhension des produits offerts par le transporteur. Les deux parties suivantes expliquent les étapes suivies lors de l'exportation et de l'importation de marchandises. La dernière partie donne un aperçu des défis reliés à la gestion de l'entrepôt.

La compagnie aérienne Air Canada est le plus important transporteur aérien au Canada. Air Canada offre des vols commerciaux sur les cinq continents avec plus de 170 destinations. Il s'agit du plus grand fournisseur de services aériens sur les lignes nationales, américaines et sur les vols internationaux en provenance et à destination du Canada. Membre de Star Alliance, le plus grand réseau de transport aérien, Air Canada assure le déplacement de plus de 33 millions de passagers par an.

Solutions et services

Air Canada Cargo, la division des services de fret d'Air Canada, compte des représentants commerciaux sur plus de 50 destinations à travers le monde. Le marché de ce service de transport de marchandises s'étend sur plus de 150 destinations dont les principaux marchés internationaux sont l'Europe, l'Asie, l'Amérique du Sud et l'Australie. Air Canada Cargo offre à ses clients sept catégories de solutions et deux niveaux de service selon le degré d'urgence des marchandises à expédier. Les solutions représentent les catégories dans lesquelles sont classées les marchandises au moment de leur expédition. Les différentes opérations effectuées sur les marchandises sont adaptées en fonction de la catégorie de solutions et du niveau de service. Les solutions offertes sont les suivantes :

1. *AC Général Cargo* : Une solution destinée aux marchandises ne présentant aucune spécificité.
2. *Gamme AC Frigo* : Une solution destinée aux marchandises sensibles aux variations de température. Cette gamme regroupe trois sous-catégories de solutions : AC °Absolu, AC Pharmacair et AC Fraîcheur.
3. *AC DGR* : Une solution destinée aux marchandises dangereuses. Elle englobe les neuf classes définies par l'Association Internationale du Transport Aérien (IATA). Notamment, les matières inflammables, les machines dotées de moteur à combustion, les explosifs et les matières corrosives.
4. *AC Vivant* : Une solution destinée au transport d'une grande variété d'animaux tels que : les chats, les chiens, les œufs à couver, les insectes, les poissons tropicaux, etc.
5. *AC Sûreté* : Une solution destinée aux marchandises de valeurs quelle que soit la valeur de la marchandise et celle des assurances. Cette gamme englobe aussi bien les œuvres d'art que les titres négociables.
6. *AC Compassion* : Une solution destinée au transport de dépouilles mortelles ou des cendres dans une urne funéraire. Cette gamme regroupe deux solutions : dépouilles mortelles-cercueils et cendres.
7. *AC Expédair* : Une solution destinée à l'envoi rapide de marchandises à travers le Canada. Les marchandises concernées doivent répondre à certaines exigences de poids et de dimensions. Cette solution ne s'applique pas aux marchandises appartenant aux catégories suivantes : AC Sûreté, AC DGR, AC Vivant et AC Compassion. Cette solution est offerte aux marchandises ne présentant aucune spécificité particulière et qui sont transportées à l'intérieur du Canada.
8. *AC Poste* : Une solution destinée aux administrations postales.

Chacune des solutions offertes par Air Canada Cargo doit respecter des règles strictes établies par les organismes intervenant dans le secteur; notamment l'Association Internationale du Transport Aérien. Ces règles régissent aussi bien les flux de marchandises que les flux d'informations.

Les niveaux de service offerts aux solutions citées ci-dessus sont les suivants :

1. *Standard* : Un service destiné aux envois non urgents ne nécessitant aucune manutention spéciale. Certaines sous-solutions (AC Absolu, AC DGR, AC Vivant, AC Vivant animaux de compagnie, AC Sûreté, Cercueils et Cendres) de ce service sont expédiées avec des délais plus courts que les délais normaux.
2. *Priorité 1* : Un service destiné aux envois urgents à l'intérieur du Canada.

Tableau 1.1 : Liste des solutions et des services

Solutions		Services	
Solutions	Sous-Solutions	Standard	Priorité 1
AC Général Cargo		x	x
Gamme AC Frigo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ AC Absolu ➤ AC Pharmacair ➤ AC Fraîcheur 		x
AC DGR		x	x
AC Vivant	<ul style="list-style-type: none"> ➤ AC Vivant ➤ AC Vivant animaux de compagnie 		x
AC Sûreté			x
AC Expédair			x
AC Compassion	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cercueils ➤ Cendres 		x
AC Poste		x	

Types de cargo et types d'avion

L'entrepôt assure l'expédition de marchandise à partir de deux types de cargo : l'unité de chargement et le vrac. Les palettes recouvertes d'un filet, les conteneurs et les demi-conteneurs constituent les unités de chargement. Les marchandises de type 'vrac' sont celles qui ne sont pas intégrées à une unité de chargement. Par exemple, un animal de compagnie à expédier est de type 'vrac'. Les différents types d'unités de chargement proposés à l'entrepôt sont au nombre de quatorze. Ceux-ci sont classés comme suit :

Tableau 1.2 : Liste des unités de chargement

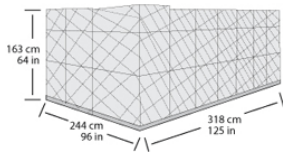
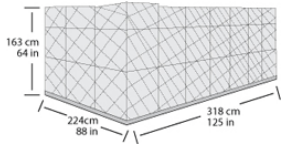
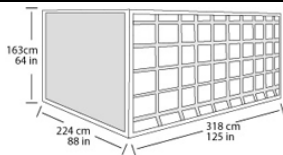
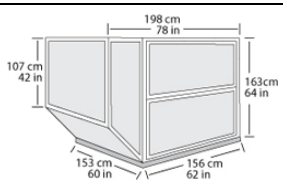
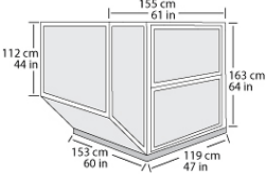
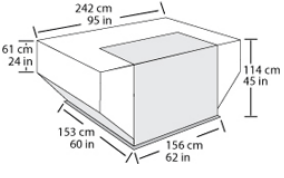
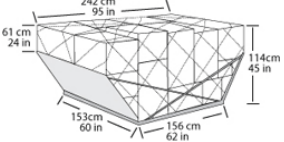
Classes d'unité de chargement	Types d'unité de chargement par classe	Représentation de l'unité de chargement
LD7 : Palette de soute profilée de 244 cm avec filet.	PMC	
LD 7-88 : Palette de soute profilée de 224 cm avec filet.	PAP, PAG	
LD9 : Conteneur de soute dimensions normalisées.	AA2, AAP	
LD3 : Demi-conteneur de soute.	AVE, AVN, AKE, AKN	

Tableau 1.3 : Liste des unités de chargement (suite)

Classes d'unité de chargement	Types d'unité de chargement par classe	Représentation de l'unité de chargement
LD2 : Demi-conteneur de soute.	DPN, DPE	
LD 3-45 : Conteneur de soute.	AKG, AKH	
LD 3-45 Wing : Conteneur de soute.	PKC	

Le parc aérien d'Air Canada Cargo est composé de treize types d'avion. Certaines unités de chargement ne sont pas compatibles avec tous les types d'avion. Les agents à la consolidation doivent tenir compte du type d'avion sur lequel la marchandise doit embarquer avant de déterminer le type d'unité de chargement. Par exemple, les plus petits avions, les avions de type Embraer, ne peuvent pas transporter les unités de chargements de type PMC. Le tableau ci-dessous fournit l'information sur les combinaisons possibles d'unités de chargement et d'avions. Les avions sont classés selon leur taille (du plus volumineux au moins volumineux).

Tableau 1.4 : Combinaison d'unités de chargement et de types d'avion

	PMC	PAP	PAG	AA2	AAP	AVE	AVN	AKE	AKN	DPN	DPE	AKG	AKH	PKC	Vrac
Boeing 777-300ER (77W)	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x
Boeing 777-200LR (77L)	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x
Airbus A330-300 (333)	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x
Boeing 767-300ER (763)	x	x	x	x	x					x	x				x
Airbus A321-200 (321)												x	x		x
Airbus A320-200 (320)												x	x	X	x
Airbus A319-100 (319)															x
Embraer 190															x
Embraer 175															x
CRJ-705 (CRA)															x
CRJ100/200ER (CRJ)															x
Dash 8-300 (DH3)															x
Dash 8-100 (DH1)															x

Certaines marchandises sont reçues et expédiées par voie terrestre. Ce cas de figure se présente lorsque les marchandises ne peuvent pas être chargées sur un avion et que l'aéroport de livraison (ou d'expédition) est situé à une distance raisonnable de Montréal. Le camion peut, par exemple, être utilisé pour le transport de grosses marchandises entre la ville de Québec et Montréal étant donné que la plupart du temps, les avions affectés au segment Québec-Montréal sont petits (par exemple : DH3, DH1). Comme le présente le tableau ci-dessus, seules les marchandises en vrac peuvent être embarquées sur les petits avions. Ainsi, pour des unités de chargement de type PMC, le camion peut être une alternative intéressante.

Délais

Le délai de récupération d'une marchandise après l'arrivée du vol et le délai de remise d'une marchandise avant le départ du vol dépendent des caractéristiques suivantes : la solution (AC Général, Gamme AC Frigo...), le service (standard ou priorité 1), le type de cargo (vrac ou unité de chargement) et le poids de la marchandise. Par exemple, pour les marchandises

Expédair, le délai de récupération est le même que le délai de remise. Ainsi, Air Canada Cargo garantit qu'une marchandise Expédair peut embarquer sur un vol si elle arrive au comptoir au moins une heure avant le départ du vol. Inversement, lorsqu'une marchandise Expédair arrive sur un vol, elle peut être disponible pour récupération par le client une heure plus tard.

Clientèle

La clientèle du transporteur est divisée en trois groupes. Le premier groupe représente les clients ordinaires qui se présentent directement au comptoir pour expédier leurs colis. Pour ceux-ci, l'enregistrement s'effectue directement au comptoir et les colis sont pesés et mesurés à l'entrepôt. Le deuxième groupe représente les gros clients tels que : les transitaires, les groupeurs ou les entreprises de transport de marchandises. Dans ce groupe, deux cas de figure peuvent se présenter : les clients qui détiennent un compte client chez Air Canada Cargo et ceux qui n'en possèdent pas. Les premiers peuvent procéder à l'enregistrement des informations sur la marchandise (le type, le poids, les dimensions...) sur le système d'information via un accès intranet. Les seconds doivent se présenter à l'entrepôt pour l'enregistrement de la marchandise. Le dernier groupe concerne les clients internes. En effet, Air Canada Cargo assure aussi le transport des équipements de la compagnie.

Les informations pertinentes sur les activités du transporteur sont abordées dans cette section. Les points traités portent sur tous les paramètres (solutions, services, unités de chargement, avion, type de client) devant être pris en compte lors de l'envoi d'une marchandise. Chaque paramètre est composé de variables qui déterminent les processus à suivre dans l'entrepôt. Les prochaines sections portent sur les activités effectuées à l'intérieur de l'entrepôt.

1.2 Activités d'exportation à l'entrepôt

Le processus d'exportation est déclenché par l'arrivée d'un client. On parle d'exportation lorsque le client se présente au comptoir pour expédier une marchandise vers un autre aéroport. Toutes les étapes suivies par la marchandise depuis l'arrivée du client jusqu'au décollage de l'avion sont cartographiées sous la forme de processus d'affaires. Les processus d'affaires à l'exportation sont disponibles à l'annexe 2.

Préposés

Les préposés d'escale de l'entrepôt fonctionnent par équipes. La plupart du temps, les équipes sont indépendantes. Chaque équipe est gérée par un chef. En plus des opérations habituelles de son équipe, le chef d'équipe assure la répartition des tâches en fonction de la charge de travail. Les équipes intervenant à l'exportation sont les suivantes :

1. *L'équipe du comptoir* : Le comptoir est composé de trois postes d'ordinateur pour assurer les services offerts aux clients. Deux postes sont destinés aux envois avec un niveau de service standard et le troisième poste est destiné au service priorité. La plus part du temps, deux préposés d'escale travaillent à ce comptoir.
2. *L'équipe de réception de marchandises* : Elle est composée de deux à trois préposés d'escale. Ils assurent toutes les opérations reliées à la réception des marchandises : le déchargement des marchandises, la prise de mesure, la pesée, le collage des étiquettes et le déplacement des marchandises vers la zone de consolidation appropriée.
3. *L'équipe de consolidation* : Elle est composée d'un chef et de quatre à cinq préposés d'escale. Un groupe d'agents de bord (deux à trois préposés) s'occupe des marchandises de grande taille et celles destinées aux grands aéroports internationaux (CDG, LHR et FRA). L'autre groupe de préposés d'escale (un à deux préposés), assure le regroupement

des marchandises dans des conteneurs destinés aux autres aéroports. Dans le souci de faciliter la lecture, le premier groupe se nommera ‘grosses consolidations’ et le deuxième groupe se nommera ‘petites consolidations’.

4. *L'équipe « breezeway » exportation* : Elle est composée d'un chef et de deux à trois employés. Elle assure l'ordonnancement des conteneurs par heure de départ à l'extérieur de l'entrepôt. Cette étape est suivie par les conteneurs préparés par l'équipe de ‘grosses consolidations’.
5. *L'équipe de courriers* : Elle est composée d'un chef d'équipe et de quatre à cinq courriers. Le chef prépare la liste de livraison des unités aux avions et la met à la disposition des courriers. Un groupe de courriers (deux à trois) se charge du transport des unités de chargement ordonnées à l'extérieur de l'entrepôt. Un courrier récupère les marchandises en vrac. Un autre courrier est affecté au transport des marchandises AC Expédair.
6. *L'équipe d'ordonnancement* : Elle est composée d'un à deux préposés d'escale. Cette équipe est dirigée par le chef d'équipe des courriers. La tâche de cette équipe est d'ordonner les petits conteneurs à l'extérieur de l'entrepôt par ordre de livraison.

Zones d'entreposage

Une zone d'entreposage est affectée aux marchandises nécessitant des traitements spéciaux.

1. *La zone d'entreposage des matières dangereuses* : Il s'agit d'un espace délimité au sol pour l'entreposage des produits dangereux.
2. *La zone d'entreposage des marchandises sensibles aux variations de température*: Il s'agit d'une pièce fermée qui permet de conserver la fraîcheur des marchandises.
3. *La zone d'entreposage des marchandises de valeur* : Il s'agit d'une pièce fermée pour sécuriser les objets de valeur.

Opérations

Le plan suivant décrit les étapes par lesquelles passe une marchandise entre son arrivée à l'entrepôt et sa sortie pour expédition.

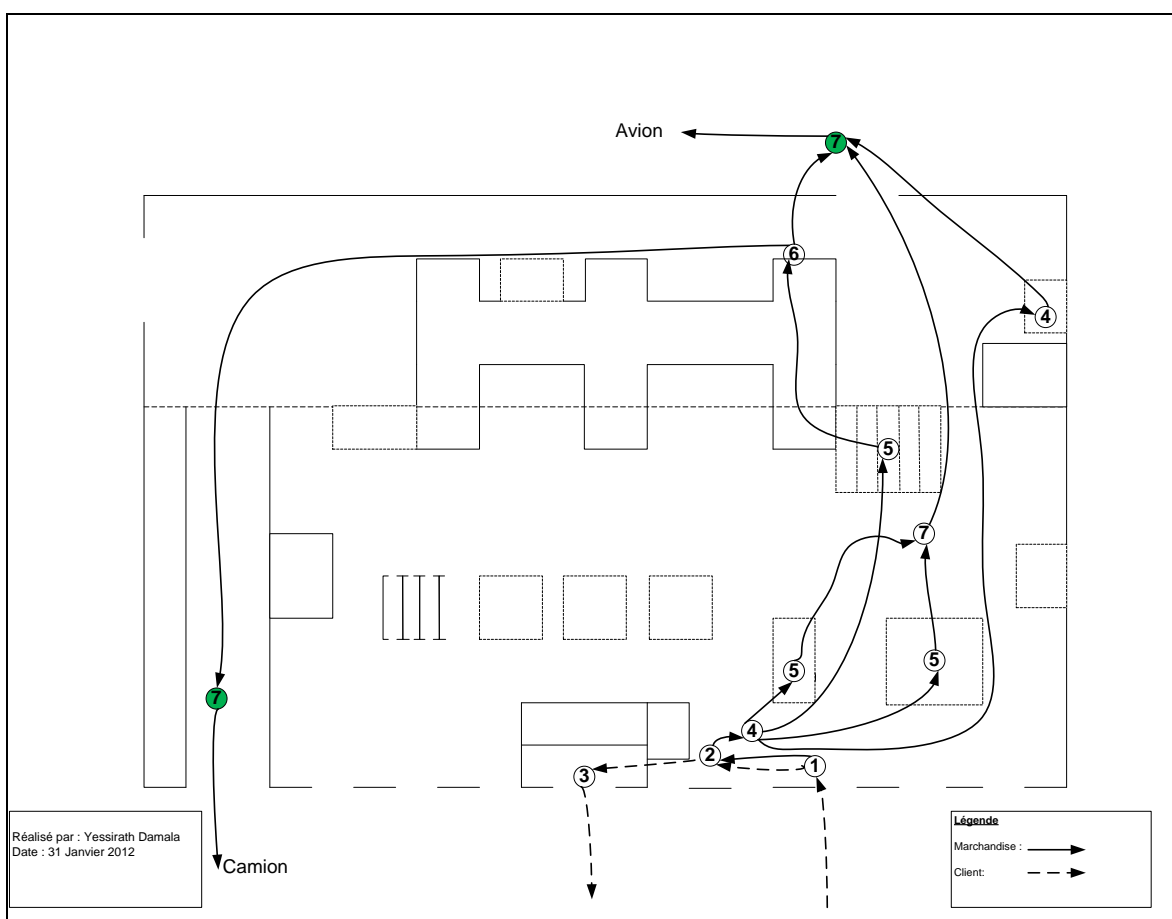


Figure 1.1 : Étapes principales à l'exportation

Les étapes identifiées sur le diagramme précédent se décrivent comme suit :

1. Le client décharge les marchandises à la réception de marchandises. (Nœud 1)

2. Le préposé à la réception de marchandises mesure et pèse la marchandise puis inscrit les informations sur un document qui est par la suite remis au client. (Nœud 2)
3. Le client procède au paiement des frais d'envoi au comptoir puis quitte l'entrepôt. (Nœud 3)
4. Le préposé à la réception de marchandises appose l'étiquette sur la marchandise. (Nœud 4)
5. Le préposé à la réception de marchandises déplace la marchandise vers la zone de consolidation appropriée en fonction de la destination et du type de solution. Les marchandises sont consolidées selon le type de cargo approprié. Cette étape est non illustrée sur la figure. (Arcs 4-5)
6. Les préposés des 'grosses consolidations' bâtissent l'unité de chargement et la déplace vers la zone de « breezeway » exportation. (Arc 5-6)
7. Le préposé au « breezeway » exportation installe l'unité sur un tracteur puis le transporte à l'extérieur de l'entrepôt. (Arc 6-7)
8. Le préposé d'ordonnancement assigné aux 'petites consolidations' récupère les unités de chargement et les ordonne à l'extérieur de l'entrepôt. (Arcs 5-7)
9. Les courriers affectés aux unités de chargement récupèrent ces dernières et les transportent vers les avions appropriés. Ils reçoivent leur feuille de retour de leur chef d'équipe. Cette étape est non illustrée sur la figure.
10. Les courriers affectés aux marchandises AC Expédair récupèrent ces dernières et les transportent vers les avions appropriés une heure avant leur départ. Cette étape est non illustrée sur la figure.
11. Les autres courriers récupèrent les marchandises en vrac et les transportent vers les avions appropriés. Cette étape est non illustrée sur la figure.

12. Les marchandises destinées aux camions sont transportées par les agents « breezeway » vers le convoyeur destiné à cet effet. Cette étape est non illustrée sur la figure.

1.3 Activités d'importation à l'entrepôt

Les activités d'importation sont déclenchées par l'arrivée à l'aéroport Pierre-Elliott-Trudeau d'un avion transportant des marchandises. Contrairement à l'exportation, le client intervient à la fin du processus lors de la récupération des marchandises. Toutes les étapes suivies sont cartographiées sous forme de processus d'affaires. Les processus à l'importation sont disponibles à l'annexe 3.

Agents

Comme à l'exportation, les agents à l'importation travaillent en équipe et chaque équipe est gérée par un chef. Tel que stipulé plus haut, les processus d'importation et d'exportation sont indépendants. Néanmoins, certaines équipes interviennent à la fois dans les deux processus : l'équipe de comptoir et l'équipe de courriers. Les équipes intervenant à l'importation sont les suivantes :

1. *L'équipe de « breezeway » importation* : Elle est composée d'un chef et de deux à trois préposés d'escale. Elle s'occupe de l'installation des unités de chargement sur le transporteur à rouleaux motorisés et les déplace vers la zone de déconstruction appropriée.
2. *L'équipe de déconstruction des grosses unités de chargement* : Elle est composée d'un chef et de trois à quatre préposés d'escale. Elle assure la déconstruction des grosses unités de chargement (exemple : PMC). Les marchandises sont par la suite déplacées vers la zone d'entreposage appropriée.

3. *L'équipe de déconstruction des petites unités de chargement* : Elle est composée de deux à trois préposés d'escabe. Elle assure la déconstruction des petites unités de chargement et assure le traitement des marchandises en vrac. Les marchandises sont par la suite déplacées vers la zone d'entreposage appropriée.
4. *L'équipe de livraison des marchandises* : Elle est composée d'un à deux agents de bord. Elle assure la livraison des marchandises au client.

Zones d'entreposage

Une zone d'entreposage est affectée aux marchandises nécessitant des traitements spéciaux.

1. *La zone d'entreposage des matières dangereuses* : Il s'agit d'un espace délimité au sol pour l'entreposage des produits dangereux.
2. *La zone d'entreposage des marchandises sensibles aux variations de température* : Il s'agit d'une pièce fermée qui permet de conserver la fraîcheur des marchandises.
3. *La zone d'entreposage des marchandises de valeur* : Il s'agit d'une pièce fermée pour sécuriser les objets de valeur.

Les marchandises ne nécessitant aucun traitement spécial sont déplacées vers les zones suivantes :

4. *Les palettiers à simple profondeur* : Il s'agit de palettiers à simple profondeur destinés à l'entreposage des marchandises de petites grandeurs.

Les trois espaces d'entreposage : Il s'agit d'une zone délimitée au sol destinée à l'entreposage de marchandises ne pouvant être installées sur les palettiers.

Opérations

Le plan suivant décrit les étapes d'une marchandise à l'importation :

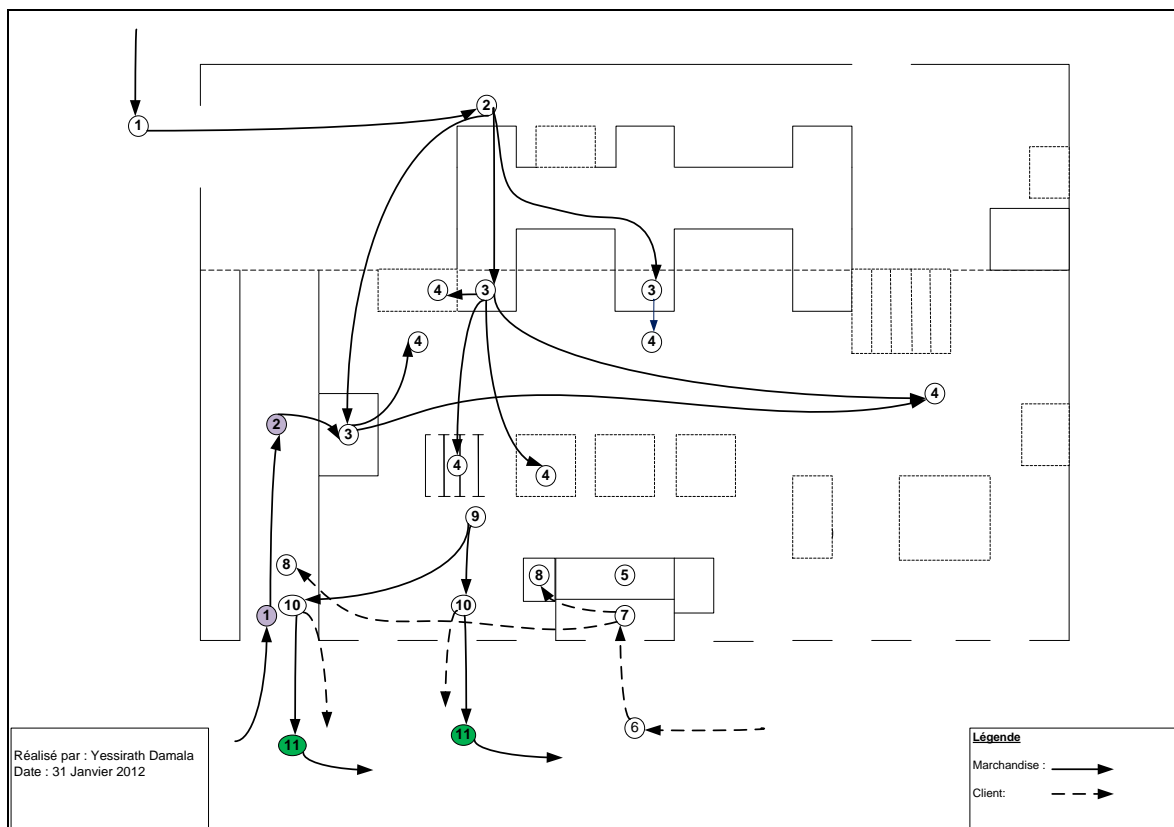


Figure 1.2 : Étapes principales à l'importation

Les étapes identifiées sur le plan se décrivent comme suit :

1. Avion : L'avion contenant des marchandises cargo atterrit à l'aéroport et est déchargé. Les courriers récupèrent les marchandises et les déplacent vers l'entrepôt. (Nœud 1)
Camion : Les marchandises reçues par un transporteur routier sont déchargées sur le transporteur à rouleaux motorisés. (Nœud 1)
2. Avion : Les préposés « breezeway » importation installent les unités de chargement sur le transporteur à rouleaux motorisés. (Nœud 2)

Camion : Les préposés de déconstruction des petites unités de chargement déplacent l'unité vers leur zone si le format est adéquat, sinon l'unité est déplacée vers la seconde zone de déconstruction. (Nœud 2)

3. Les préposés de déconstruction des grosses unités de chargement ouvrent les unités de chargement et transportent les marchandises vers la zone d'entreposage appropriée. Les marchandises en transit sont déplacées vers l'exportation.(Nœud 3)
4. Les préposés de déconstruction des petites marchandises reçoivent les petites unités de chargement et les marchandises en vrac. Les marchandises sont par la suite déplacées vers la zone d'entreposage appropriée. Les marchandises en transit sont déplacées vers l'exportation. (Arcs 3-4)
5. Les informations des marchandises reçues sont mises à jour sur le système d'information. (Nœud 5)
6. Le client installe son véhicule à une porte de l'entrepôt. (Nœud 6)
7. Le client se présente au comptoir pour effectuer toutes les transactions nécessaires avant la récupération des marchandises. (Nœud 7)
8. Le client se présente au comptoir de réception et présente la preuve de reçu de récupération des marchandises au préposé de livraison. (Nœud 8)
9. L'agent de réception récupère les marchandises à l'intérieur de l'entrepôt et les met à la disposition du client. (Nœud 9)
10. Le client récupère ses marchandises et les charge dans son véhicule. (Nœud 10)
11. Le client quitte l'entrepôt en possession de ses marchandises. (Nœud 11)

1.4 Défis de l'entrepôt

Les marchandises traitées dans l'entrepôt y sont conservées pour une très courte durée. L'objectif est, d'une part, de les mettre à la disposition du client le plus vite possible et d'autre part de les faire partir au plus tôt sur un vol (ou un camion). La fonction entreposage est donc secondaire. Ce type d'activité est similaire à celui d'un quai de transbordement. L'utilisation du terme 'entrepôt' peut paraître inappropriée dans le cas actuel. Cependant, par convention, cette appellation est maintenue tout au long du rapport. En général, les défis auxquels doivent faire face les entrepôts sont de maximiser l'utilisation de l'espace, de maximiser l'utilisation des équipements, de maximiser l'utilisation de la main-d'œuvre, de maximiser l'accès à tous les produits et enfin maximiser la protection de tous les produits. L'entrepôt montréalais s'inscrit parfaitement dans ce contexte, bien qu'il s'agisse d'un quai de transbordement, on y effectue toutes les activités caractéristiques d'un entrepôt conventionnel.

1.5 Défis du projet

Tel qu'abordé en introduction, l'outil d'aide à la décision est basé sur une simulation. La simulation sur ARENA, quant à elle, se sert de données (intrants) pour générer des résultats (extrants). Le dessin ci-dessous décrit le principe de fonctionnement de l'outil :

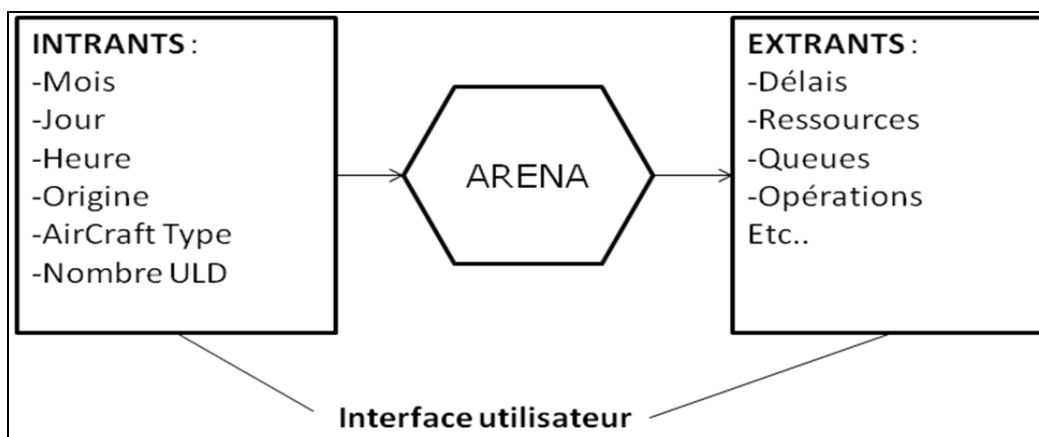


Figure 1.3 : Principe de l'outil de simulation

Les principaux défis du projet résident dans la préparation et la présentation des données (intrants et extrants). D'une part, les données à l'intrant représentent toutes les informations utiles au fonctionnement de la simulation. Deux types de données sont utilisés pour la simulation : les données historiques et les temps d'opérations. Les données historiques représentent la liste des marchandises qui ont été traitées à l'entrepôt sur une période d'une année, soit du 1^{er} juillet 2010 au 30 juin 2011. Les temps d'opérations sont les résultats des mesures de temps et mouvements effectuées sur le terrain aux dates suivantes : 1^{er} octobre 2011, 7 octobre 2011, 8 octobre 2011, 13 octobre 2011, 14 octobre 2011, 19 octobre 2011, 4 novembre 2011, 11 novembre 2011 et 13 novembre 2011.

Les sections précédentes permettent de saisir la complexité d'analyse due à la variabilité des paramètres d'identification d'une marchandise. Par exemple, la liste des marchandises à l'exportation est présentée selon les paramètres suivants : la solution, le service, l'unité de chargement, le type de client, la destination, le type d'avion, l'heure de départ du vol. Chaque paramètre contient plusieurs variables : 8 solutions, 2 services, 13 types d'unités de chargement, 3 types de clients, 150 destinations, 12 types d'avion, et 24 heures dans une journée (heures possibles de départ de vol dans une journée). Chaque paramètre est associé à une colonne du fichier de données historiques fournies par l'entrepôt et une ligne est associée à une marchandise. Considérer que le modèle de simulation doit lire chaque ligne telle quelle, l'outil ne serait pas

efficace pour l'analyse de nouveaux scénarios. En effet, sur cette base il serait difficile de répondre à la problématique de l'étude qui est de concevoir un outil d'aide à la décision flexible. Face à cette situation, une analyse approfondie des données est nécessaire afin de ressortir les sensibilités entre les paramètres. Les objectifs sont les suivants : ressortir les statistiques qui caractérisent le comportement réel des marchandises et déterminer un format d'agrégation des paramètres.

D'autre part, les résultats générés par l'outil de simulation doivent faciliter la prise de décisions de l'utilisateur. Ainsi, les résultats doivent être présentés sous la forme d'indicateurs de performance significatifs pour l'utilisateur tels que : les goulots d'étranglement, les délais d'attente aux postes, les périodes de forte affluence, le niveau de satisfaction du client, etc. Pour ce faire, un travail de préparation des données est nécessaire pour déterminer la valeur réelle des indicateurs de performance.

Le projet de simulation des activités de l'entrepôt est un appui non négligeable à l'atteinte des objectifs de l'entrepôt car il permet de tester de nouvelles procédures avant leur mise en œuvre. De plus, il s'agit d'un outil qui fournit une bonne vue d'ensemble des processus actuels et permet leur comparaison avec les nouveaux processus. En plus de faciliter l'analyse du fonctionnement de l'entrepôt, la simulation facilite l'exploration de solutions potentielles. En somme, la conception de l'outil d'aide à la décision se justifie dans le contexte actuel d'étude.

CHAPITRE 2 : REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 Méthodes de simulation

La simulation dans le secteur du transport a connu un nouvel essor depuis quelques années dû à son intégration dans les processus de prise de décisions. Dans leur article Cross et al. [2] décrivent l'impact réel des besoins en logistique sur la popularité de cet outil ainsi que les opportunités et limites liées à l'utilisation de la simulation à événements discrets à travers un recueil d'analyses de projets de simulation. Les opportunités liées à la simulation sont nombreuses, car elle peut être utilisée pour tous les domaines de la logistique. Cependant, les défis liés à la réalisation d'un projet de simulation portent sur : la définition et le traitement des données d'analyse, l'adaptation de la simulation aux particularités du processus d'analyse, la durée et les coûts reliés au projet. Cet article permet d'avoir une idée plus objective du pouvoir de la simulation. L'identification des défis permet de mieux conceptualiser l'impact du projet. Il s'agit d'un article qui met en exergue toutes les facettes de la modélisation à événements discrets.

La simulation hybride est une combinaison des méthodes de simulation discrète et continue. Elle permet de combiner les avantages reliés à ces deux approches de simulation. Brito et al. [3] ressortent les points forts et les points faibles de celles-ci afin d'identifier de quelle façon il est possible de les combiner pour de meilleurs résultats. La simulation à événements discrets est le plus souvent utilisée pour le niveau opérationnel, notamment pour les entrepôts. Tandis que la simulation dynamique est plus efficace à un niveau organisationnel plus élevé, notamment pour l'analyse de marché (Borshchev et Filippov [4]). Cet article (Borshchev et Filippov [4]) démontre que la simulation à événements discrets est un choix approprié pour le projet actuel.

Cao et al. [5] utilisent la modélisation à événements discrets pour modéliser l'impact du RFID sur les opérations du service de fret aérien. Le logiciel de simulation utilisé est ProModel. L'avantage de cette étude est qu'elle fournit une analyse de coût qui évalue le retour sur

investissement de cette nouvelle technologie. La simulation proposée dans cette étude modélise principalement des opérations à l'intérieur de l'entrepôt en tenant compte de toutes les ressources disponibles (aussi bien des opérateurs que du matériel de manutention). Les améliorations constatées pour la simulation de l'entrepôt avec le RFID permettent de réduire considérablement la disponibilité de la marchandise auprès du client. Cependant, l'étude ne met pas en valeur l'impact de ce nouveau système sur le processus effectué par le client lors du dépôt et de la récupération des marchandises.

Face à l'augmentation du nombre de marchandises cargo et de passagers, les autorités en charge dans le secteur aérien au Brésil décident d'implanter un nouveau système de contrôle pour garantir la sécurité des personnes. Vismari et Camargo [6] présentent dans un article la méthode utilisée pour l'évaluation de l'impact de cette nouvelle technologie sur le système de sécurité aérien. La méthode d'étude est la combinaison d'une approche qualitative et quantitative. Les deux systèmes sont comparés sur la base des valeurs moyennes de leurs paramètres de sécurité. Ces valeurs sont obtenues suite à une étude de risque effectuée sur chaque système compte tenue des normes légales de sécurité. L'approche qualitative se perçoit dans le processus d'évaluation de risque et la définition des critères d'évaluation. Ce projet démontre l'importance de l'évaluation d'un système avant sa mise en place. Cependant l'approche proposée est limitée à la situation d'étude car les critères d'évaluation de risque sont définis suite à une étude qualitative des paramètres de fonctionnalité des deux systèmes. Ceci rend la modélisation peu flexible, car le processus d'analyse doit être réévalué pour l'analyse de nouveaux scénarios.

La modélisation à événements discrets n'est pas la seule approche disponible pour une simulation. Dans leur étude Lee et al. [7] utilisent la méthode des réseaux de Pétri colorés avec mesure de temps pour simuler la performance d'un entrepôt de fret aérien. Cette méthode a permis d'analyser la performance d'un entrepôt face aux nouvelles règles dans le secteur aérien et l'impact de l'utilisation d'un système d'entreposage automatisé. Cette approche se limite par l'absence d'une animation de la simulation. En effet, l'animation est un argument visuel pour démontrer les améliorations liées à la mise en place d'un nouveau système.

La simulation offre de grandes opportunités d'analyse pour tous les domaines liés au transport aérien de personnes et de marchandises. Plusieurs études ont été faites sur le sujet. Cependant, la particularité du projet actuel est qu'il permet à la fois de mesurer l'impact des changements sur les opérations à l'intérieur de l'entrepôt et sur les processus dans lesquels interviennent les clients. De plus, la méthode de modélisation est assez flexible pour tester différents scénarios sans changements majeurs sur le modèle.

2.2 Systèmes de transbordement

La gestion d'un système de transbordement requiert une bonne connaissance des problèmes liés à ceux-ci. Dans leur article, Choy et al. [8] ont abordé les problèmes opérationnels pour un quai de transbordement disposant d'un seul espace d'accueil. Cette contrainte spatiale entraîne un long temps d'attente des camions se présentant pour un changement. Face à ce type de problème, leur approche est le développement d'un modèle mathématique et d'un algorithme méta-heuristique pour coordonner les arrivées de marchandises aux arrivées de camion de chargement. La force de cette approche réside dans le fait qu'il est possible de l'appliquer dans le cas où les arrivées de marchandises sont aléatoires.

Cet algorithme peut être utilisé pour améliorer le modèle de simulation. Dans le cas de cette étude, les informations sur les arrivées de clients à l'importation ne sont pas disponibles. Des hypothèses ont été émises pour construire le modèle de simulation. L'autre approche serait d'intégrer l'algorithme conçu par Choy et al. [8] pour tenir compte du caractère aléatoire des arrivées de clients à l'importation.

CHAPITRE 3 : CONCEPTION DE L'OUTIL

3.1 Analyse des données historiques

Ce chapitre décrit les étapes d'analyses effectuées pour la conception de l'outil. Tout d'abord, une analyse de données est effectuée afin de faciliter la compréhension du comportement de tous les paramètres qui décrivent une marchandise. Ce travail a abouti à la définition des paramètres de simulation.

Les données historiques fournies par Air Canada Cargo représentent toutes les transactions effectuées à l'entrepôt du 1^{er} juillet 2010 au 30 juin 2011 pour l'exportation et l'importation. Ces informations sont pertinentes pour l'identification d'une marchandise : l'origine, la destination, le type d'avion, l'unité de chargement, la solution, le service, le type de client ainsi que les temps d'opérations. Certains paramètres diffèrent lorsqu'il s'agit d'une marchandise destinée à l'exportation ou à l'importation. À l'exportation, la base de données fournit la destination et l'heure de départ de la marchandise sur un vol. Quant à l'importation, la base de données fournit pour une marchandise donnée : son origine, sa destination finale, l'heure réelle d'arrivée du vol et l'heure de livraison de la marchandise.

Une étape de préparation des données est nécessaire afin d'identifier les données corrompues qui ne peuvent être utilisées pour la simulation. La préparation consiste à retirer de la base de données les marchandises dont les informations d'identification sont manquantes. Le détail des étapes de préparation n'est pas abordé, car l'attention est portée sur l'établissement des intrants pour la simulation. La base de données ainsi constituée, il est possible de ressortir certaines statistiques pertinentes à la compréhension du comportement des marchandises et à l'établissement de données pour l'outil de simulation.

3.2 Analyse des données à l'exportation

À l'exportation, la base de données est composée de 73 957 marchandises. L'analyse de ces paramètres sert à la constitution des intrants de la simulation. Dans les sous-sections suivantes, une série de figures illustrant le comportement des marchandises par an, par mois et par jours sont analysées. Chaque figure est suivie d'une analyse qui décrit la répartition de la donnée observée sur une période. Chaque série d'analyses est suivie d'une conclusion et de la liste des hypothèses émises suites aux observations.

3.2.1 Date de départ du vol, destinations et types d'avion

Les analyses effectuées sur la date de départ du vol, les destinations et les types d'avion sont présentées dans cette partie.

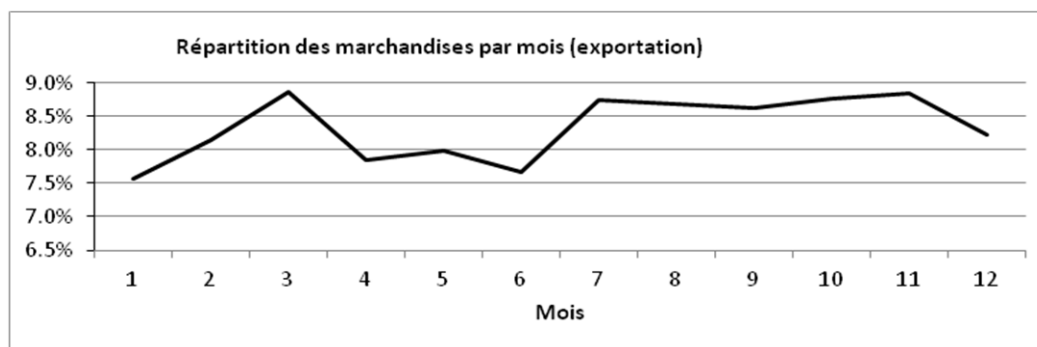


Figure 3.1 : Répartition du nombre de marchandises par mois à l'exportation

Observation : Pour ce tableau le premier mois est équivalent à janvier. La même considération est faite pour l'ensemble du rapport. L'entrepôt reçoit pratiquement la même quantité de marchandises tous les mois. La répartition du nombre de marchandises varie entre 7% et 9% d'un mois à l'autre.

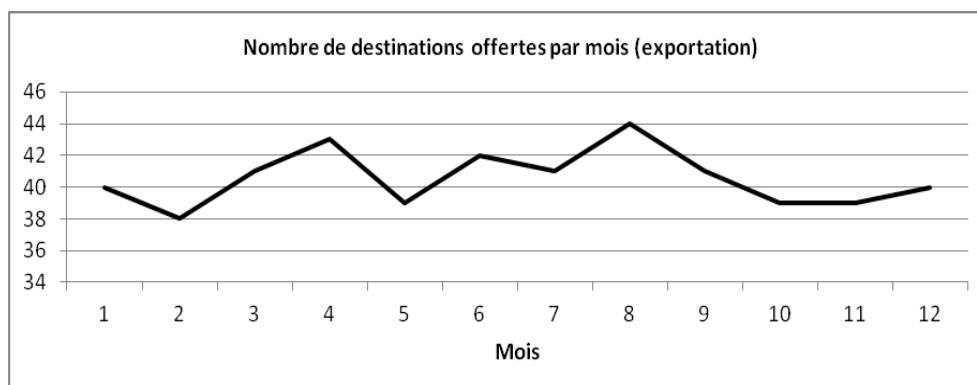


Figure 3.2 : Nombre de destinations offertes par mois à l'exportation

Observation : Le nombre de destinations offert par mois varie entre 38 et 44. Le mois d'août offre un plus grand nombre de destinations.

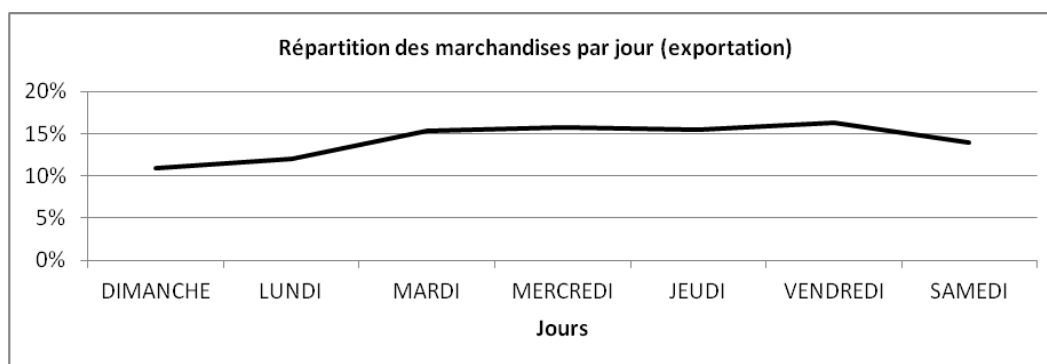


Figure 3.3 : Répartition des marchandises par jour à l'exportation

Observation : La proportion de marchandises reçues du mardi au vendredi varie très peu. Une légère baisse des activités est observée du vendredi au lundi.

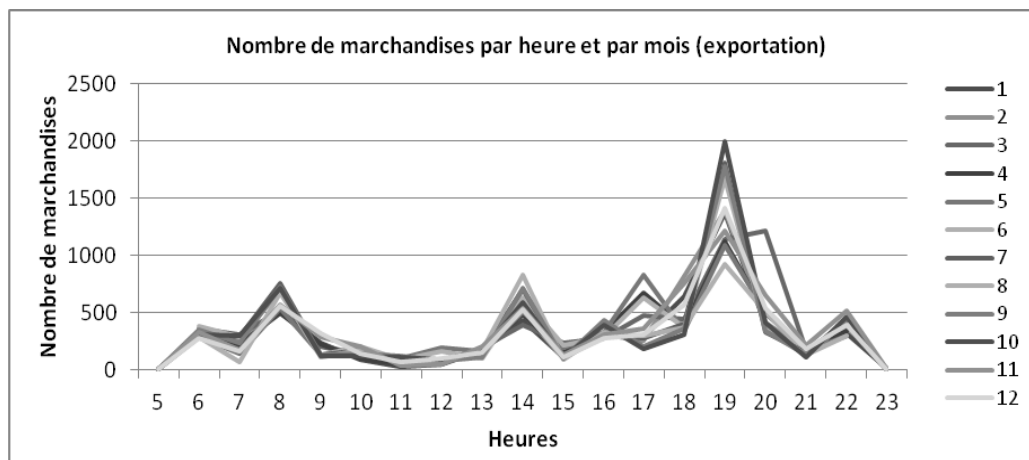


Figure 3.4 : Nombre de marchandises par heure et par mois à l'exportation

Observation : Le nombre de marchandises varie tout au long d'une journée. La tendance est que les périodes de pointes sont les mêmes quelque soit le mois (8 h, 14 h, 17 h, 19 h et 22 h). La période de pointe la plus importante survient à 19 h. Cette dernière correspond au départ des vols internationaux. La quantité maximale est observée entre 18 h et 20 h.

Conclusion : La variabilité observée dans la figure précédente, démontre qu'il est important de tenir compte de l'heure de départ des marchandises pour l'établissement des statistiques de simulation. Comme il a été mentionné en 1.2, le processus est déclenché par l'arrivée d'un client. L'information sur l'heure d'arrivée du client n'étant pas disponible, elle est estimée à partir des délais de remise minimaux. Ce délai représente le temps minimum requis pour se présenter au comptoir avant le départ du vol. Il est défini selon : la solution, le service et le type d'unité de chargement. Sur la base de certaines hypothèses, il est possible de déterminer les heures d'arrivée des clients.

Hypothèses :

1. Le nombre de clients : L'heure d'arrivée d'un client est calculée selon les heures de départ des vols. Le nombre de clients généré à une certaine heure est obtenu à partir du nombre de

clients attribué à un vol. Étant donné qu'un vol est associé à une destination, alors le nombre de clients arrivant à l'entrepôt à une certaine heure peut être relié à une destination. Ainsi, l'heure d'arrivée des clients est déterminée en considérant qu'un client se présente à l'entrepôt pour l'expédition de marchandises vers une seule destination.

2. Délai d'arrivée des clients : Afin de rendre plus réaliste les heures d'arrivée des clients, il est nécessaire d'intégrer une variabilité à l'heure d'arrivée obtenue à partir des délais minimums. Arbitrairement, les clients se présentent à l'entrepôt entre 0 et 30 min avant le délai minimum requis.
3. Le nombre de destinations : Toutes les destinations ne sont pas offertes au même moment chaque jour de la semaine et certaines destinations ne sont pas offertes à certaines périodes de l'année. Dans le souci de tenir compte de ces facteurs, un mois est représenté par une semaine type. Cette semaine type (de dimanche à samedi) tient compte des variabilités des heures de départ des vols durant le mois.
4. Le type d'avion : Le type d'avion utilisé dépend de la destination, il peut varier selon le nombre de passagers prévu. Cependant, pour une destination donnée, le type d'avion varie rarement. Ainsi, en ce qui concerne les données de simulation, le type d'avion associé à une destination est celui qui est le plus fréquemment utilisé.

Sur la base des analyses précédentes et des hypothèses émises, les paramètres considérés sont les suivants : le jour d'arrivée du client, la destination, le type d'avion, le nombre de marchandises (basé sur une loi triangulaire) et le nombre de clients. Le choix de la loi triangulaire se justifie par le fait qu'elle permet de représenter les valeurs fréquemment observées par le passé.

3.2.2 Solutions

Des analyses initiales ont démontrées que la réparation des marchandises est la même par mois. En raison de la taille du tableau, les résultats obtenus sont synthétisés à l'annexe 4. La répartition est présentée pour le mois de janvier afin de donner un aperçu de la répartition pour les autres mois.

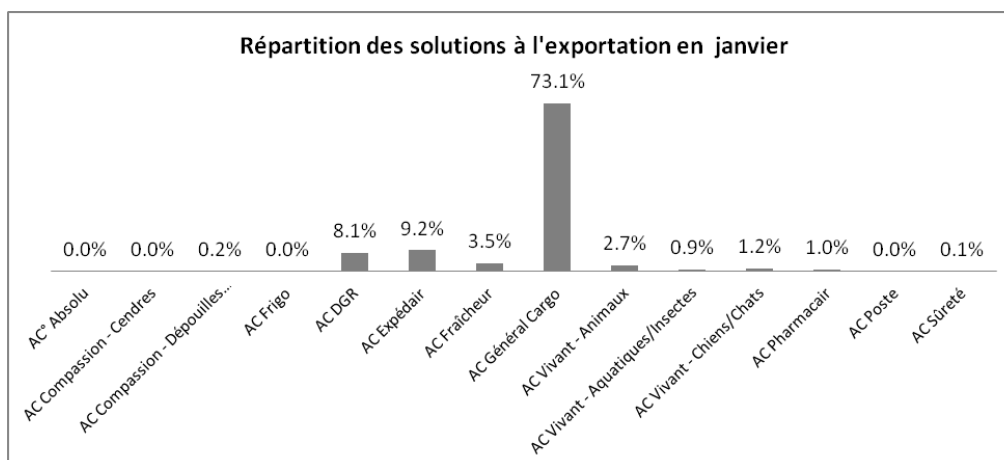


Figure 3.5 : Répartition des solutions à l'exportation en janvier

Observation : La solution AC Général Cargo est la plus utilisée et sa proportion nettement supérieure aux autres.

Tel que stipulé dans le premier chapitre, les solutions sont consolidées dans des unités de chargement. Ces dernières ne peuvent être transportées par tous les types d'avion, sauf pour le cas des marchandises en vrac. Ainsi, il est possible de déduire que la répartition des solutions par type d'avion n'est pas la même. Cette information est démontrée à partir du tableau des répartitions des solutions par type d'avion à l'annexe 5.

Conclusion : Bien que la répartition des solutions est la même pour chaque mois, il existe une variabilité si le type d'avion est pris en compte. Toutes les solutions ne sont pas transportées par chaque avion. Ce constat sert à l'établissement d'une loi discrète pour décrire les solutions attribuées aux marchandises en fonction du type d'avion. Cette loi est applicable pour tous les mois.

3.2.3 Services

Les analyses effectuées pour les services sont présentées dans cette partie.

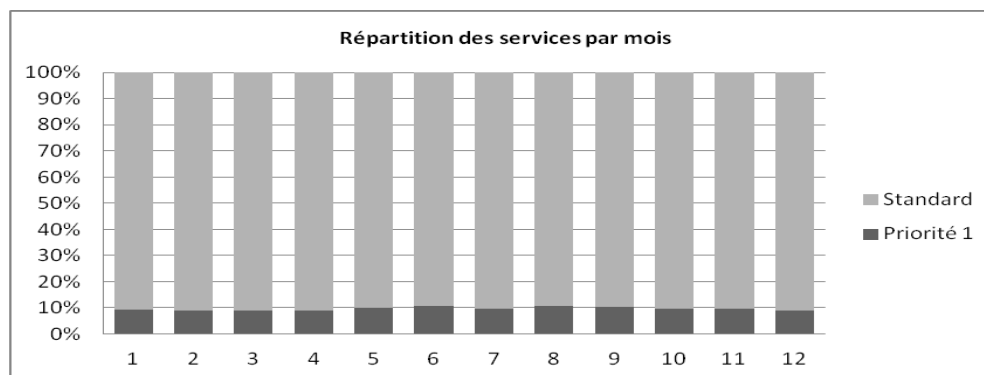


Figure 3.6 : Répartition des services par mois

Observation : La répartition des services est la même chaque mois. Le service Normal a une plus forte proportion.

Tableau 3.1 : Répartition des solutions par service à l'exportation

	Priorité 1	Normal
AC° Absolu		0%
AC Compassion - Cendres		0%
AC Compassion - Dépouilles mortelles		0%
AC Frigo		0%
AC DGR		8%
AC Expédair	100%	
AC Fraîcheur		4%
AC Général Cargo		81%
AC Vivant - Animaux		3%
AC Vivant - Aquatiques/Insectes		1%
AC Vivant - Chiens/Chats		2%
AC Pharmacair		1%
AC Poste		0%
AC Sûreté		0%

Observation : Ce graphique vient confirmer les informations fournies sur le site internet d’Air Canada Cargo. Tous les services ne sont pas offerts pour toutes les solutions. Notamment, le service Priorité 1 n’est offert que pour la solution AC Expedair.

Conclusion : La fréquence d’utilisation d’un service est la même tout au long de l’année. Il est possible d’établir une loi de probabilité sur les services par rapport au type de solution. La loi discrète cumulative est choisie pour déterminer les services à attribuer à une marchandise en fonction du type de solution. Pour la loi discrète cumulative, les proportions attribuées à chaque catégorie sont cumulées (ex : DISCUM(1,0.30,2,1); soit 30 % pour la catégorie 1 et 70 % pour la catégorie 2).

3.2.4 Unités de chargement

Certaines unités sont rarement utilisées au cours de l’année. Pour des raisons de visibilité, seules les unités les plus utilisées sont représentées.

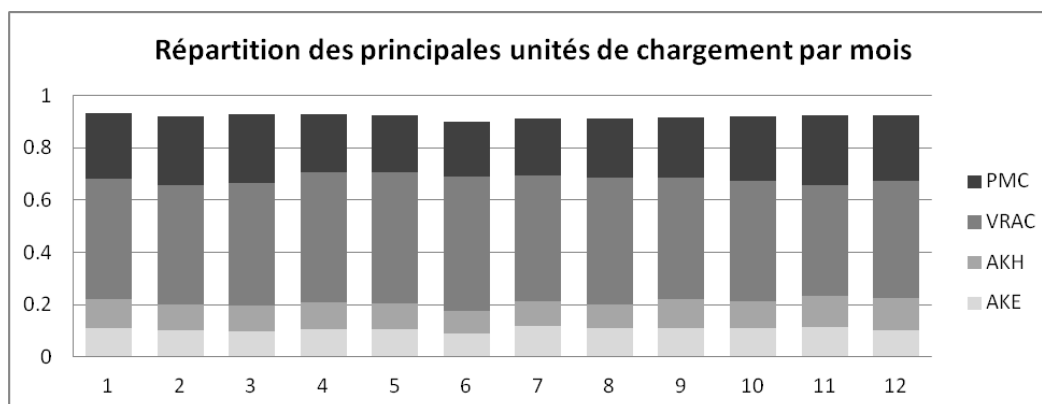


Figure 3.7 : Répartition des principales unités de chargement par mois

Observation : Les unités non considérées représentent moins de 10 % de l’ensemble des unités de chargement. La fréquence d’utilisation des unités de chargement est la même d’un mois à l’autre. L’unité de chargement la plus utilisée est le VRAC et elle représente les marchandises en vrac.

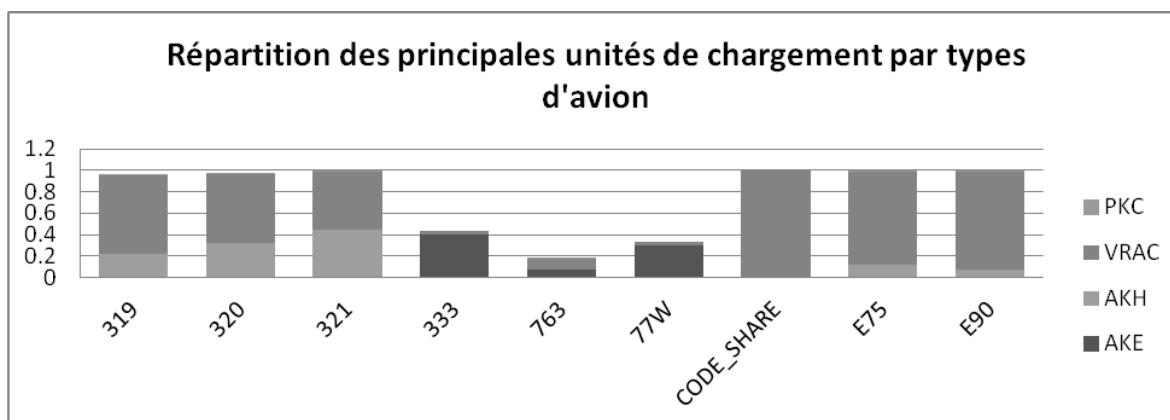


Figure 3.8 : Répartition des principales unités de chargement par types d'avion

Observation : Ce graphique confirme le point selon lequel certaines unités de chargement ne sont pas compatibles avec tous les types d'avion. Le type d'unité VRAC, qui représente les marchandises en vrac, est le plus utilisé pour un grand nombre d'avions. Les unités de chargement fréquemment utilisées pour les types d'avion 333, 763 et 77W ne sont pas représentées dans cette figure.

Conclusion : La fréquence d'utilisation d'une unité de chargement ne varie pas d'un mois à l'autre. Toutefois, le type d'avion a un impact sur le type d'unité de chargement. Il est possible de ressortir cette variabilité à partir d'une loi discrète cumulative qui détermine le type d'unité de chargement à attribuer à une marchandise en fonction du type d'avion.

Hypothèse :

1. La taille d'une unité de chargement : Le nombre de marchandises pouvant être intégré à une unité de chargement est le même d'un mois à l'autre. L'attribution de la capacité d'une unité de chargement est décrite par une loi discrète cumulative. Les analyses effectuées sur la base de données démontrent que la quantité de marchandises affectée à une unité de chargement atteint rarement 20. Ainsi, la taille maximale pouvant être attribuée par la loi est limitée à 20 marchandises par unité de chargement.

3.3 Analyse des données à l'importation

À l'importation, la base de données obtenue suite aux opérations de préparation est composée de 99 012 marchandises. Chaque marchandise est caractérisée par les paramètres suivants : la date d'arrivée du vol (mois, jour, heure), l'origine, le type d'avion, l'unité de chargement, la solution, le service, les marchandises en transit à Montréal et le délai de livraison. L'analyse de chacun de ces paramètres sert à la constitution des intrants de la simulation à l'importation. La procédure d'analyse adoptée à l'exportation est réutilisée pour l'importation.

3.3.1 Date d'arrivée, origine et types d'avion

Les analyses effectuées dans cette section portent sur la date d'arrivée, l'origine et les types d'avion.

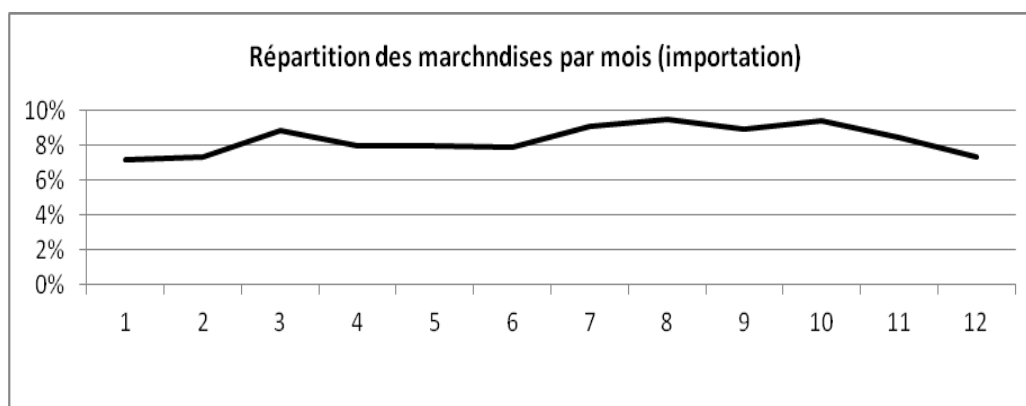


Figure 3.9 : Répartition des marchandises par mois à l'importation

Observation : Le nombre de marchandises traité à l'importation varie très peu au cours de l'année. La proportion est sensiblement autour de 7% à 9% par mois. De plus, un grand nombre de marchandises est traité au mois d'août.

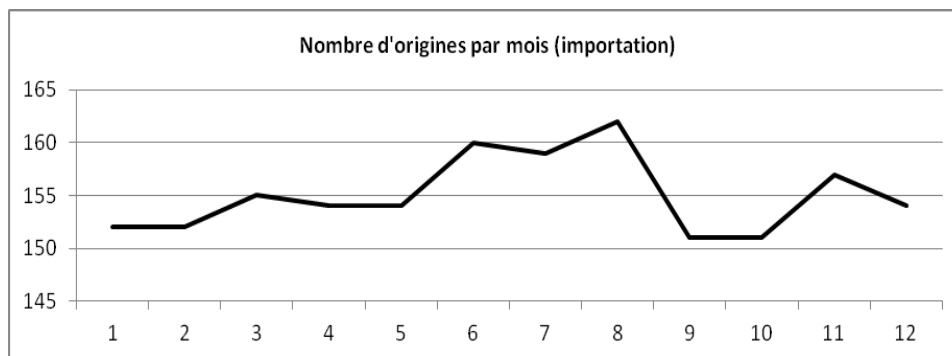


Figure 3.10 : Nombre d'origines par mois à l'importation

Observation : Le nombre d'origines varie d'un mois à l'autre. La valeur maximale est obtenue au mois d'août, soit plus de 160 origines. Cependant, de septembre à mai, le nombre d'origines varie entre 150 et 157.

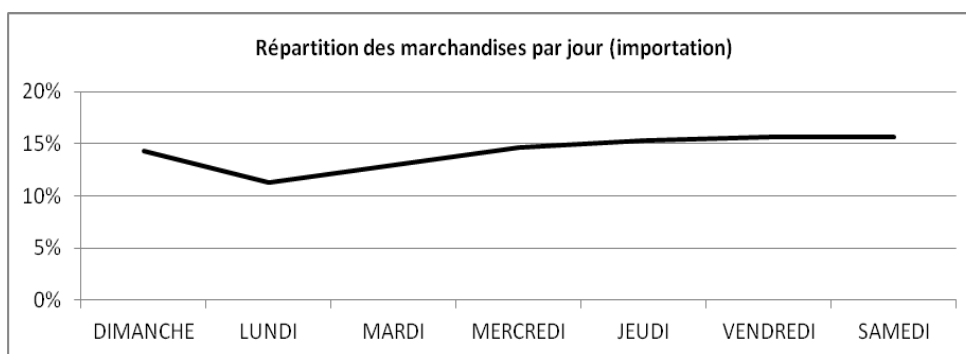


Figure 3.11 : Répartition des marchandises par jour à l'importation

Observation : Le nombre de marchandises traitées à l'importation varie très peu au cours d'une semaine. La plus faible proportion est obtenue le lundi.

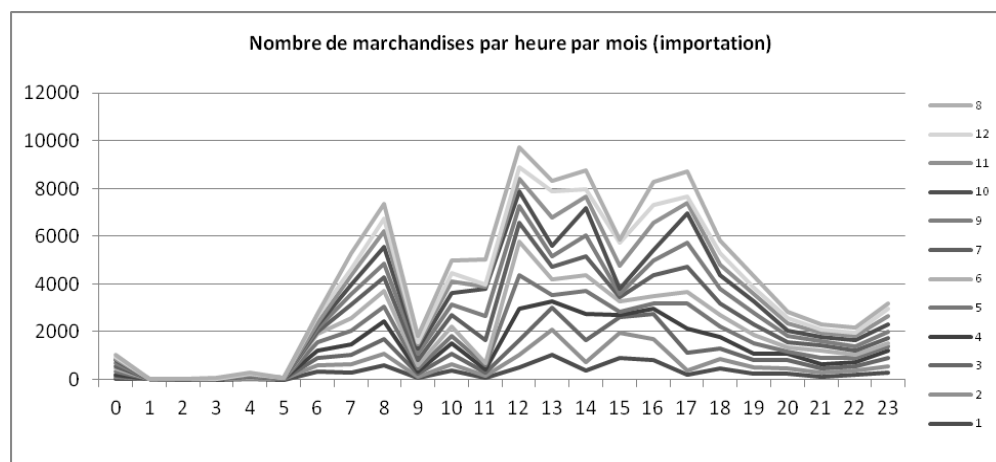


Figure 3.12 : Nombre de marchandises par heure et par mois à l'importation

Observation : La variation du nombre de marchandises traité à l'importation au cours d'une journée est similaire pour les douze mois. En effet, des pointes sont observées de 12 h à 17 h. Cependant, la différence porte sur le nombre de marchandises par mois.

Conclusion : Le mois et le jour ont très peu d'impact sur le nombre de marchandises reçu à l'importation. Cependant, le graphique précédent démontre que l'heure d'arrivée d'un vol a un impact sur le nombre de marchandises. Tel que constaté à l'exportation, les valeurs maximales sont obtenues au mois d'août. Le processus à l'importation étant déclenché par l'arrivée d'un avion, il est donc possible de se servir des informations des vols fournis.

Hypothèses :

1. L'origine : Le plus grand nombre d'origine est obtenu au mois d'août. Les origines de ce mois peuvent être considérées pour la simulation. De plus, le type d'avion utilisé pour une ligne aérienne est souvent le même. Ainsi, il est possible de garantir que la variation du nombre de marchandises provenant des différents aéroports est prise en compte en considérant toutes les origines.
2. La semaine type : Tel que considéré à l'exportation, une semaine type est conçue afin de tenir compte des horaires variables des vols au cours de la semaine.

3. Le type d'avion : Le type d'avion associé à une origine est celui le plus fréquemment attribué.
4. Le contenu d'un vol : À l'importation les marchandises sont reçues sous la forme d'unité de chargement. Les unités sont par la suite déconstruites en marchandises. Ainsi, il est possible d'attribuer un nombre d'unités de chargement à un vol donné.

3.3.2 Unités de chargement

Tel que considéré pour l'analyse des unités de chargement à l'exportation, les graphiques utilisés ne présentent que les principales unités de chargement.

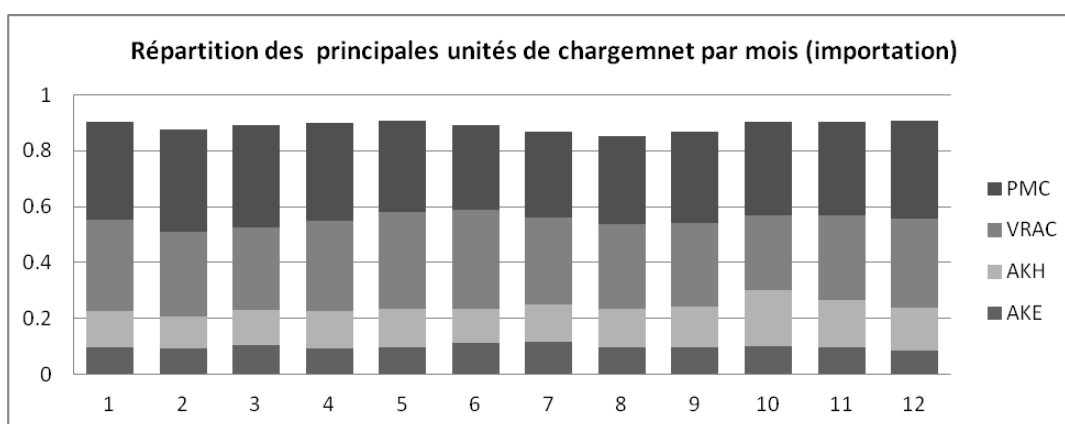


Figure 3.13 : Répartition des principales unités de chargement par mois à l'importation

Observation : La répartition des unités de chargement reçues par mois est similaire d'un mois à l'autre.

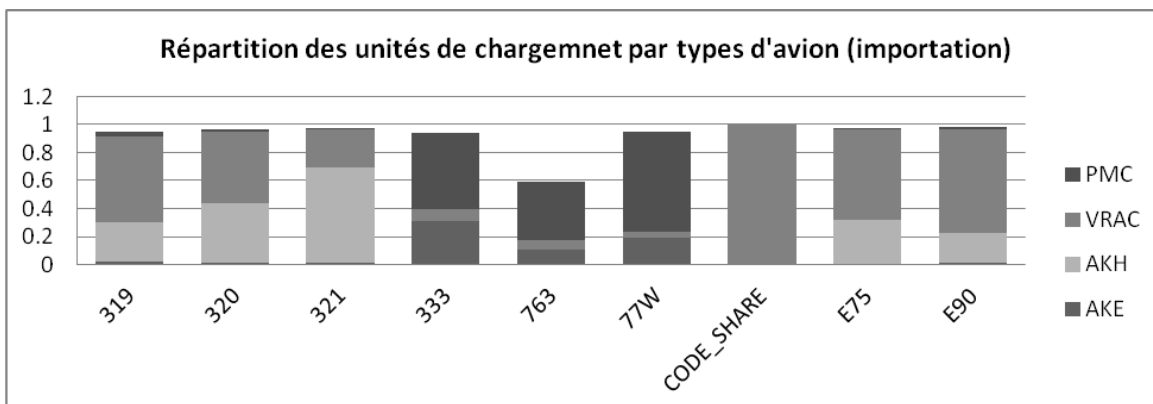


Figure 3.14 : Répartition des unités de chargement par types d'avion à l'importation

Observation : Tel que constaté à l'exportation, ce graphique vient confirmer que toutes les unités de chargement ne sont pas chargées sur tous les avions.

Conclusion : Le mois n'a pas d'impact sur la fréquence d'utilisation d'une unité de chargement. L'attribution des types d'unités de chargement dans un avion peut s'effectuer en fonction du type d'avion. La loi discrète cumulative utilisée peut être représentative de ce comportement tout au long de l'année.

Hypothèse :

1. La taille des unités de chargement : La méthode préconisée à l'exportation pour la détermination de la taille des unités de chargement est appliquée pour l'importation.

3.3.1 Solutions

Des analyses initiales démontrent que la répartition des solutions par mois est la même pour tous les mois. Les données sont disponibles à l'annexe 6. Par ailleurs, la répartition pour le mois de janvier est présentée dans la figure ci-dessous.

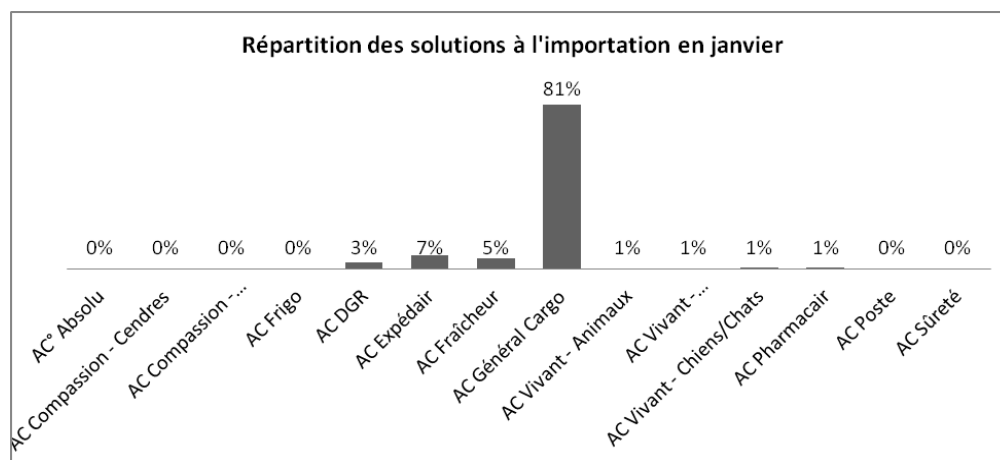


Figure 3.15 : Répartition des solutions à l'importation en janvier

Observation : La solution la plus utilisée par mois est l'AC General Cargo. Tout comme pour les autres solutions, le taux d'utilisation de cette solution est le même par mois.

Dans l'analyse des solutions effectuées à l'exportation, il a été démontré que toutes les solutions ne peuvent être chargées sur tous les types d'avion. En raison du grand nombre de solutions, la répartition des solutions par types d'avion à l'importation est disponible en annexe 7.

Conclusion : Il est possible d'établir une relation entre le type d'avion et la solution sur la base des observations effectuées pour l'annexe 7. Cette relation peut être utilisée pour tous les mois, étant donné que le mois n'a pas d'impact sur la solution.

3.3.2 Services

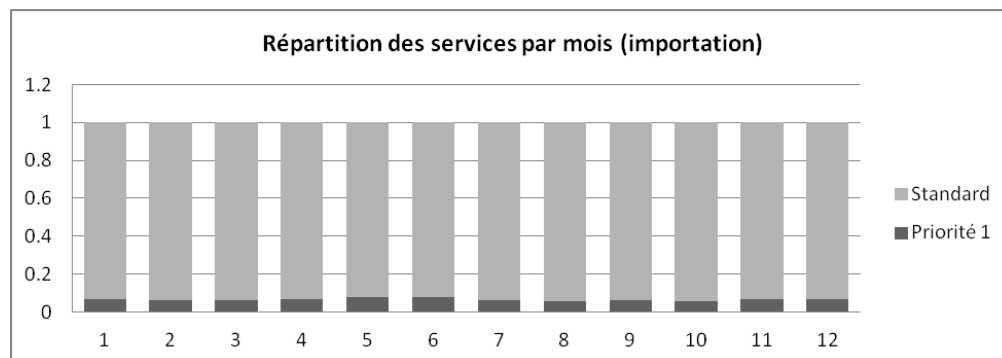


Figure 3.16 : Répartition des services par mois à l'importation

Observation : La proportion d'un service est la même au cours de l'année.

Tableau 3.2 : Répartition des solutions par service à l'importation

	Priorité 1	Standard
AC° Absolu		0%
AC Compassion - Cendres		0%
AC Compassion - Dépouilles mortelles		0%
AC Frigo		0%
AC DGR		4%
AC Expédair	100%	
AC Fraîcheur		6%
AC Général Cargo		87%
AC Vivant - Animaux		1%
AC Vivant - Aquatiques/Insectes		1%
AC Vivant - Chiens/Chats		1%
AC Pharmacair		1%
AC Poste		0%
AC Sûreté		0%

Observation : Les mêmes services ne sont pas offerts pour toutes les solutions.

Conclusion : Il est possible de définir une loi qui détermine le type de service approprié pour une solution. Cette loi est valable pour tous les mois.

3.3.3 Destination finale

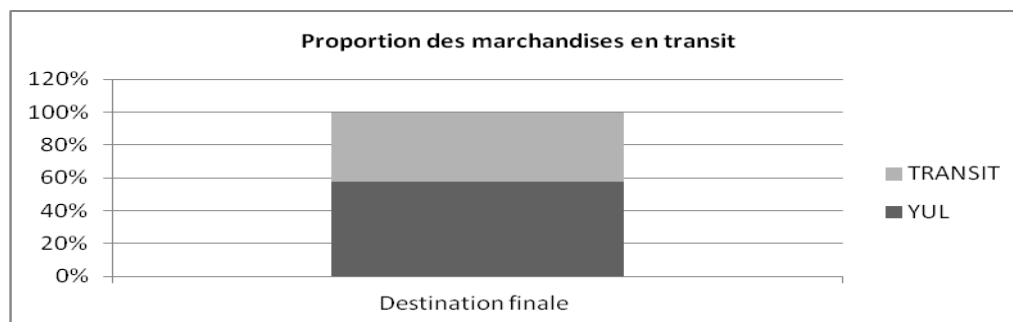


Figure 3.17 : Proportion des marchandises en transit

Observation : Environ la moitié des marchandises reçues à l'importation sont en transit à Montréal.

Tableau 3.3 : Répartition des solutions par destination finale

	YUL	TRANSIT
AC° Absolu	0%	0%
AC Compassion - Cendres	0%	0%
AC Compassion - Dépouilles mortelles	0%	0%
AC Frigo	0%	0%
AC DGR	5%	2%
AC Expédair	10%	1%
AC Fraîcheur	4%	7%
AC Général Cargo	77%	87%
AC Vivant - Animaux	1%	0%
AC Vivant - Aquatiques/Insectes	1%	0%
AC Vivant - Chiens/Chats	1%	1%
AC Pharmacair	0%	1%
AC Poste	0%	0%
AC Sûreté	0%	0%

Observation : La répartition des solutions est différente pour les marchandises en transit. Par exemple, la solution AC Expédair est la plupart du temps récupérée par le client à Montréal (YUL). Il est très rare que ce type de solution soit en transit.

Conclusion : La détermination de la destination finale de la marchandise est obtenue à partir d'une loi discrète cumulative. Cette loi détermine pour chaque solution la proportion de marchandises en transit.

3.3.4 Délais de livraison des marchandises

Aucune donnée n'est disponible sur l'heure de livraison des marchandises. Pour cette raison une hypothèse est émise.

Hypothèse :

1. En considérant le lien entre le moment d'arrivée d'une marchandise et le moment de livraison, il est possible de déterminer le début du processus du client à l'importation. L'heure d'arrivée d'un vol est la même que celle d'une marchandise. Étant donné qu'un vol est principalement caractérisé par son origine, il est possible d'établir un lien entre le moment de livraison et l'origine d'une marchandise. Pour ce faire, le délai de livraison d'une marchandise est déterminé pour chaque origine sur la base d'une loi uniforme.

3.4 Collecte de données temporelles

Les données temporelles représentent les temps d'opérations à chaque poste de travail. Ces temps sont obtenus suite à plusieurs observations effectuées à l'entrepôt. Le matériel de mesure est un chronomètre numérique. Les observations ont été effectuées à chaque poste de travail sur neuf jours (les dates sont indiquées à l'introduction). La figure ci-dessous donne un aperçu des durées moyennes des opérations pour certains types de solution.

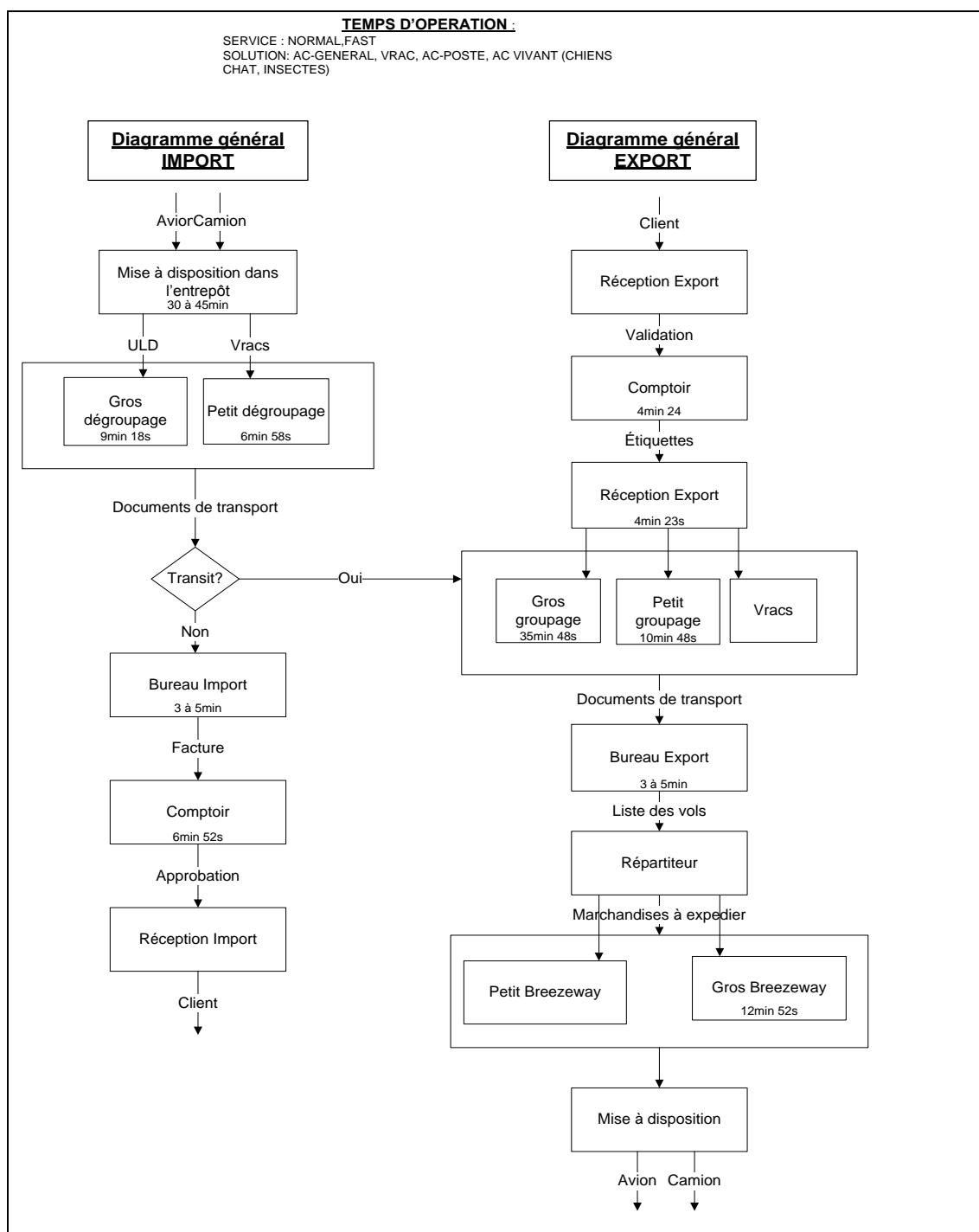


Figure 3.18 : Temps d'opération moyens à l'exportation et à l'importation

ARENA fournit un module qui permet de déterminer la loi de probabilité la plus adéquate pour une liste de données. La durée de chaque opération est déterminée par une loi de probabilité (Annexe 1).

Hypothèse :

1. Aucune distinction n'est faite pour les temps d'opération en matière de services. Il en est de même pour les solutions.

3.5 Fonctionnement de la simulation

Le fonctionnement de la simulation est basé sur deux types de données : les données déterministes et les données probabilistes. Les premières permettent de démarrer la simulation. Il s'agit d'informations fixes connues initialement. La seconde catégorie de données représente l'ensemble des lois de probabilités déterminées à partir des observations et des données historiques. La simulation reproduit l'organisation de l'entrepôt en séparant les processus d'exportation et d'importation. Ces processus sont reliés par les marchandises en transit. En effet, tel que mentionné en introduction, certaines marchandises transigent par l'entrepôt montréalais pour se rendre vers d'autres destinations.

Principe de la simulation à l'exportation

Données déterministes :

Tableau 3.4 : Concept de génération des clients

Départ de vol	Caractéristiques
Mois	Fixe
Jour	Fixe
Heure(min)	Fixe
Destination	Fixe
Type d'avion	Fixe
Nombre de clients	Fixe

Les arrivées des clients sont générées à partir du tableau précédent. Le nombre de marchandises et le nombre de clients étant connus pour un vol donné, il est possible de générer leurs arrivées sur la base de certaines hypothèses. De plus, les horaires des employés sont initialement connus pour l'ensemble de la simulation (exportation et importation).

Hypothèse :

1. La base de données mise à disposition ne fournit aucune information sur le nombre exact de clients s'étant présentés à l'entrepôt pour l'expédition de marchandises vers une destination. La seule information disponible sur les clients est leur catégorie. Par exemple, la base de données permet de savoir que des marchandises ont été expédiées pour le compte d'Apple, cependant il n'est pas possible de connaître le nombre exact de personnes qui se sont présentées au comptoir pour ce compte. Sur cette base, il a été supposé qu'un seul client se présente au comptoir pour une destination donnée.

Données probabilistes :

Hypothèse :

- I. Le nombre de marchandises par clients : L'information sur le nombre exact de marchandises par client n'est pas fournie. Compte tenu du fait que le temps de contact avec le client dans l'entrepôt varie très peu en fonction du nombre de marchandises, le nombre de marchandises par client est attribué aléatoirement. Pour la simulation aucune distinction n'est faite entre les clients.

Le nombre de marchandises : Une loi triangulaire est utilisée pour déterminer le nombre de marchandises par clients.

La solution : Une loi discrète cumulative est utilisée pour la détermination des solutions à traiter en fonction du type d'avion.

Le service : Une loi discrète cumulative est utilisée pour la détermination du type de service à attribuer à une solution.

L'unité de chargement : Une loi discrète cumulative est utilisée pour la détermination de l'unité de chargement à attribuer à une solution.

La taille de l'unité de chargement : Une loi discrète cumulative est utilisée pour la détermination de la taille d'une unité de chargement.

Mécanisme de la simulation à l'exportation :

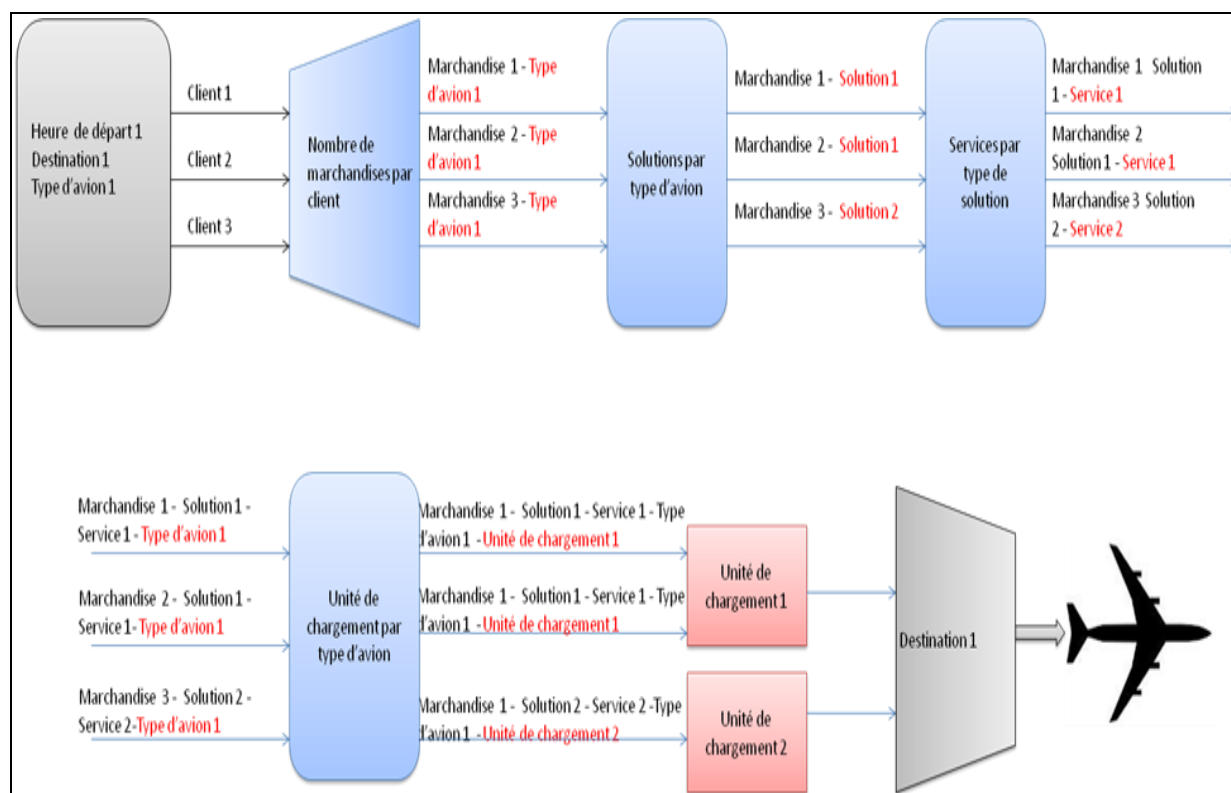


Figure 3.19 : Fonctionnement de la simulation à l'exportation

Les données déterministes définissent les paramètres de base qui serviront à la caractérisation des marchandises. En effet, le type d'avion permet de déterminer le type de solution d'une marchandise. Par la suite, les services sont assignés selon le type de solution. L'attribution de l'unité de chargement des marchandises est réalisée en fonction du type d'avion. Les marchandises sont par la suite regroupées en unités de chargement. Finalement, les unités de chargement sont regroupées par destination sur un vol.

Principe de la simulation à l'importation

Données déterministes :

Tableau 3.5 : Concept de génération des vols

Arrivée de vol	Caractéristiques
Mois	Fixe
Jour	Fixe
Heure(min)	Fixe
Origine	Fixe
Type d'avion	Fixe
Nombre de clients	Fixe

Hypothèses :

1. Le nombre de client : le processus de détermination du nombre de clients à l'exportation est le même qu'à l'importation.
2. Le nombre de marchandises par client : tel que considéré à l'exportation, le nombre de marchandises par client est attribué aléatoirement.

Données probabilistes :

Hypothèse :

1. Le nombre de marchandises par client : tel que considéré à l'exportation, le nombre de marchandises par client est attribué aléatoirement. Ce nombre est représenté par une loi triangulaire.

L'unité de chargement : Une loi discrète cumulative est utilisée pour la détermination de l'unité de chargement selon le type d'avion.

La taille de l'unité de chargement : Une loi discrète cumulative est utilisée pour la détermination de la taille d'une unité de chargement.

La solution : Une loi discrète cumulative est utilisée pour la détermination des solutions à traiter en fonction du type d'avion associé à un client.

Le service : Une loi discrète cumulative est utilisée pour la détermination du type de service à attribuer à une solution.

Le délai de livraison : Une loi uniforme est utilisée pour la détermination du moment de livraison en fonction de l'origine de la marchandise.

Les marchandises en transit : Une loi discrète cumulative détermine pour chaque solution la proportion de marchandises en transit.

La destination finale : Une loi discrète est utilisée pour attribuer une destination finale à une marchandise en transit en fonction de son origine.

Mécanisme de la simulation à l'importation :

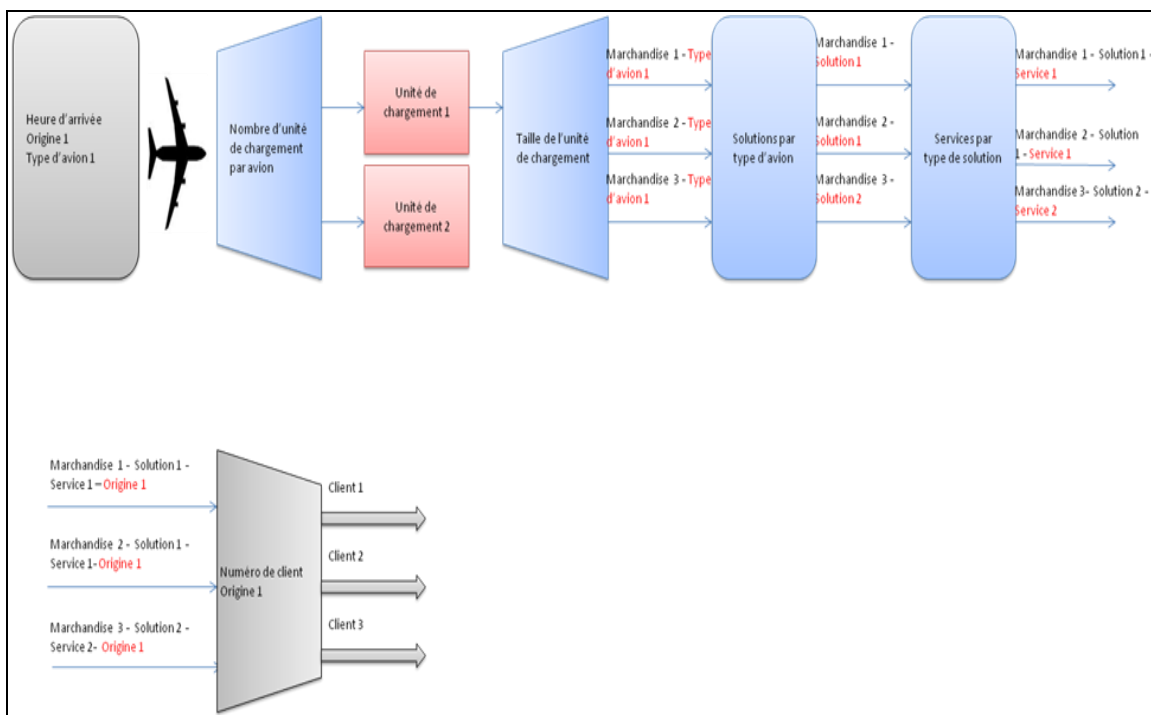


Figure 3.20 : Fonctionnement de la simulation à l'importation

Les données déterministes définissent les paramètres de base associés à un vol. Les unités de chargement comprises dans un avion sont déconstruites sous forme de marchandises en fonction de la loi sur la taille des unités de chargement. Les types de solutions et de services sont attribués aux marchandises. Par la suite, un numéro de client est attribué à chaque marchandise. Finalement, les marchandises sont regroupées selon le numéro de client. Les marchandises en transit sont dirigées vers le processus d'exportation. Elles intègrent ce processus à l'étape de construction des unités de chargement.

CHAPITRE 4 : ANALYSE DES RÉSULTATS

Les données collectées et analysées ont servi à la conception du modèle de simulation représentatif de la situation de l'entrepôt au moment de la collecte de données. Dernièrement, un nouveau processus a été mis en place à l'exportation. Ce processus consiste à inspecter toutes les marchandises exportées. Seuls les clients possédant l'accréditation sont exemptés de cette inspection.. À travers ce chapitre, les deux scénarios (situation initiale et nouveau processus) sont comparés sur la base d'indicateurs de performance prédéfinis.

4.1 Données de simulation et d'analyse

Les paramètres pris en compte pour la simulation et les considérations faites pour la représentation des résultats sont abordés dans cette section.

4.1.1 Paramètres de simulation

Dans le chapitre précédent, il a été démontré que le nombre de marchandises varie très peu d'un mois à l'autre, aussi bien à l'exportation qu'à l'importation. Cependant, le nombre de marchandises traité dans l'entrepôt fluctue au cours d'une journée. De plus, compte tenu du fait que les horaires des vols pour un mois donné ne varient pas d'une semaine à l'autre, il est possible de représenter le mois de simulation à partir d'une semaine type. Pour la simulation, le mois de janvier est choisi. La période de simulation est d'une semaine de sept jours. Chaque jour de la semaine a une durée de 24 h. Les mêmes considérations sont faites à l'exportation et à l'importation.

Le nombre de réplifications requis est déterminé en observant le comportement des résultats lorsque le nombre de réplifications varie. Le modèle de simulation est testé pour 5, 10, 15 et 20 réplifications. Les résultats obtenus en effectuant des simulations avec 5 et 10 réplifications

sont très différents. Toutefois, ces résultats se stabilisent lorsque le nombre de répliques est supérieur à 15. Les critères de stabilisation sont les indicateurs de performance. Ainsi, il est possible de soutenir qu'après 20 répliques, le modèle se stabilise. Le nombre de répliques considéré pour cette étude est 25. Les mêmes considérations sont faites pour l'exportation et l'importation.

4.1.2 Résultats de simulation

Les résultats de simulation sont classés en deux catégories : les temps d'opération des clients et les temps d'opération des marchandises. Les données d'analyse sont collectées pour les deux types de services (Standard et Priorité 1). Par ailleurs, tous les jours de la simulation ne sont pas pris en compte dans l'analyse des données. En effet, au premier jour de la simulation, aucune marchandise n'est disponible dans l'entrepôt. Ce cas de figure n'est pas conforme à la réalité compte tenu du fait que l'entrepôt est fonctionnel 24h/24h. De même, le dernier jour de la simulation n'est pas pris en compte car les marchandises générées cette journée ne peuvent être suivies les jours suivants. Ainsi, seuls les résultats pour les jours 2, 3, 4, 5, et 6 sont analysés. L'impact d'une telle considération sur l'analyse est négligeable, car la Figure 3.3 et la Figure 3.11 démontrent que le nombre de marchandises traité varie très peu au cours d'une semaine.

D'une part, les données considérées à l'exportation portent uniquement sur les marchandises reçues à l'entrepôt de Montréal. Les marchandises en transit sont donc exclues de l'analyse de données. Cette considération se justifie par le fait que ces dernières n'effectuent pas toutes les étapes de l'exportation. En effet, elles intègrent le processus à l'étape de la construction des unités de chargement. De plus, en considérant les marchandises reçues auprès des clients montréalais il est plus aisé de mesurer leur satisfaction en évaluant la capacité de l'entrepôt à respecter les délais liés aux services vendus. Toutefois, il est important de reconnaître que les marchandises en transit ont un impact sur le processus, car elles utilisent les ressources de l'entrepôt comme toutes les autres marchandises.

4.2 Situation initiale

Les résultats obtenus lors de la simulation à l'exportation et à l'importation sont présentés et analysés. Pour l'ensemble des tableaux analysés, les bornes inférieures et supérieures sont situées à trois écarts types par rapport à la moyenne. Dans certains cas, les bornes inférieures calculées sont négatives. Bien que ce cas de figure soit irréaliste, les valeurs obtenues sont maintenues par souci de conformité avec les bornes supérieures. Les temps d'opération pour chaque type de marchandises (Priorité 1 et Standard) sont présentés sous formes de tableaux et de graphiques. Les tableaux donnent l'information sur l'étendue des données et les graphiques permettent d'évaluer la durée totale d'un processus en fonction de l'heure d'arrivée des marchandises. De plus, le temps de disponibilité des marchandises (à l'aéroport pour l'exportation et dans l'entrepôt pour l'importation) est calculé. Des analyses similaires sont effectuées pour représenter les temps d'interaction avec les clients se présentant à l'entrepôt pour des marchandises avec les services Priorité 1 et Standard.

4.2.1 Analyse des résultats à l'exportation

Temps d'opération des marchandises

Les figures ci-dessous sont récapitulatives des temps d'opération obtenus (minimum, moyenne et maximum) pour les marchandises Priorité 1. Le tableau 4.1 présente les temps d'opération des marchandises Priorité 1 à l'exportation. Le délai 1 correspond au temps d'attente des marchandises avant l'opération de consolidation. Le délai 2 correspond au temps d'attente des marchandises avant l'opération du courrier. Cette description des deux délais reste la même pour l'ensemble des tableaux de cette partie. Ce tableau permet de déterminer le temps moyen pour effectuer toutes les opérations nécessaires. De plus, il est possible d'observer la proportion de marchandises se situant de part et d'autres de cette moyenne.

Tableau 4.1 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 à l'exportation

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Réception	6,0	0	0,6	62	8,9	38	16,1	1	26,0
Délai 1	0,0	0	-13,4	64	5,0	36	23,5	0	22,0
Consolidation	2,0	0	-3,9	71	3,9	27	11,6	2	30,0
Délai 2	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0
Courrier	21,0	0	10,1	55	30,3	43	50,5	1	111,0
	30,0		-4,6		49,0		102,6		190,0

Observation : Les marchandises Priorité 1 ont un temps moyen de processus de 49 min. Environ 98 % des temps d'opération sont inférieurs à la borne supérieure. Cette opération a un impact sur l'ensemble du processus.

Le tableau 4.2 présente le délai de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1. Son but principal est de mettre en valeur l'impact des temps d'opération sur la disponibilité des marchandises à l'aéroport. Il s'agit d'un bon indicateur pour évaluer la performance du simulateur.

Tableau 4.2 : Délais de disponibilité à l'avion des marchandises Priorité 1 à l'exportation

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
A l'heure	94	0,0	0	-1,0	45	22,4	55	45,8	0	35,0
En retard	6	-1,0	0	44,3	65	-13,0	34	-44,3	1	-57,0

Observation : 94 % des marchandises Priorité 1 sont livrées à l'aéroport en moyenne 22 min avant le départ du vol. 65 % des marchandises ont un retard inférieur à 13 min.

La figure 4.1 permet de déterminer à quel moment de la journée surviennent les valeurs maximales des temps d'opération. Un grand nombre de marchandises reçu à certaines heures de la journée pourrait être à la base des retards observés dans les tableaux ci-dessus.

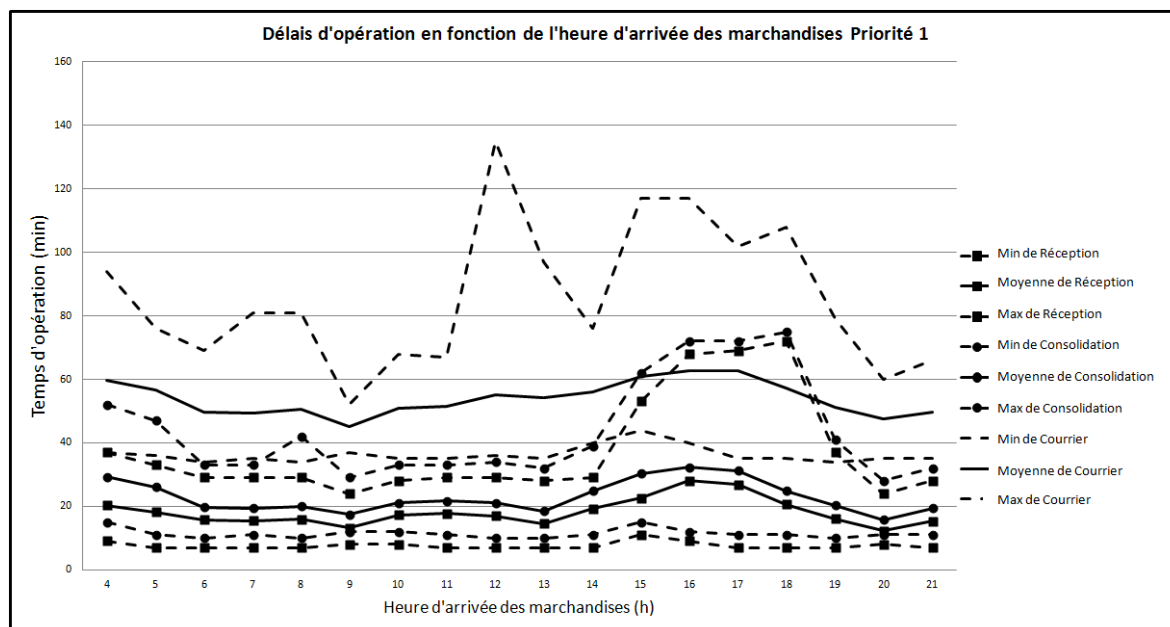


Figure 4.1 : Temps d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des marchandises Priorité 1

Observation : À la figure 4.1, il est possible d'observer le lien entre l'heure d'arrivée des clients et les délais d'opération. Les marchandises reçues entre 15 h et 18 h génèrent des temps d'opération élevés sur l'ensemble du processus. Cette période correspond à l'heure de départ des vols internationaux. À certaines heures (12 h, entre 15 h et 17 h, 18 h) le délai maximum est supérieur à 100 min. Ces délais sont représentatifs des 1 % de marchandises ayant un temps d'opération de courrier supérieur à la borne inférieure (tableau 4.1).

Les temps d'opération obtenus (minimum, moyenne et maximum) pour les marchandises Standard sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 4.3 : Temps d'opération des marchandises Standard à l'exportation

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Réception	7,0	0	-30,1	70	16,4	28	51,5	3	90,0
Délai 1	0,0	0	-98,7	57	25,7	41	124,4	2	289,0
Consolidation	1,0	0	-134,3	71	28,4	28	163,6	1	355,0
Délai 2	0,0	0	-117,8	49	63,9	51	181,7	0	178,0
Courrier	17,0	0	-47,5	74	34,4	23	98,9	3	189,0
	25,0		-426,3		168,7		620,0		1101,0

Observation : En moyenne, les marchandises passent 169 min à l'intérieur de l'entrepôt. Cette moyenne est inférieure au délai de remise minimal exigé par la compagnie (240 min) pour les marchandises Standard.

Tableau 4.4 : Délai de disponibilité à l'avion des marchandises Standard à l'exportation

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
A l'heure	93	0,0	0	-34,5	53	86,6	47	207,7	0,5	400,0
En retard	7	-1,0	0	261,3	56	-72,4	42	-261,3	2	-356,0

Observation : 93 % des marchandises Standard sont livrées à l'aéroport au plus tôt 86.6 min avant le départ du vol. Parmi les 7 % de marchandises en retard, 56 % ont un retard inférieur au retard moyen (72 min). Il est possible d'établir une corrélation entre les valeurs du tableau 4.3 et le principe de fonctionnement de l'opération courrier. Le modèle de simulation est conçu de sorte à minimiser le nombre de déplacements des courriers entre l'entrepôt et l'aéroport. L'opération de courrier débute entre 85 min et 90 min avant le départ des marchandises. Ce délai est calculé pour un conteneur devant être expédié au plus tôt à l'aéroport. Ainsi, il arrive que le courrier récupère des conteneurs dont l'heure de départ est nettement supérieure à ce délai. Le retard observé sur 7 % des marchandises peut être justifié à l'aide de la figure qui suit.

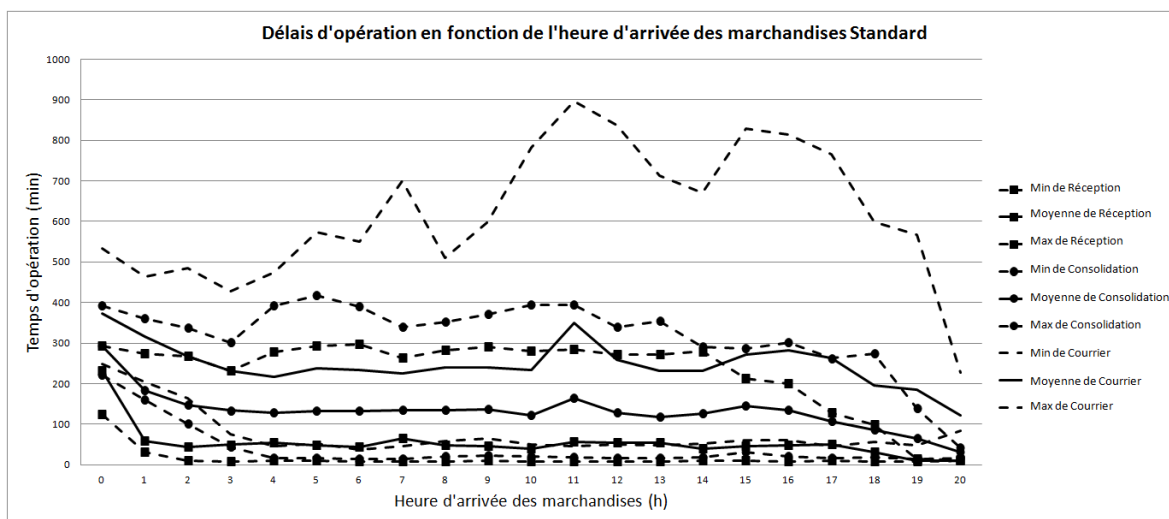


Figure 4.2 : Temps d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des marchandises Standard à l'exportation

Observation : Les valeurs maximales de l'opération de courrier sont très élevées par rapport aux autres opérations. Ces délais peuvent justifier les retards observés dans le tableau 4.4. En effet, l'amplitude est plus grande à partir de 10 h. Il est possible d'avancer que celle-ci représente un goulot d'étranglement en raison de la fréquence de déplacement entre l'aéroport et l'entrepôt. Les courriers effectuent le transport des marchandises d'importation et d'exportation. Ces délais peuvent s'expliquer par le temps de disponibilité d'un courrier pour l'exportation.

Conclusion : Le modèle de simulation garantit le respect des délais de livraison pour 93 % des marchandises Standard et 94 % des marchandises Priorité 1. Les retards peuvent être justifiés par la réception d'un grand nombre de marchandises aux heures de pointe, soit entre 12 h et 18 h. Il est important de noter que dans la réalité les retards de marchandises sont possibles; mais les retards obtenus à partir du modèle peuvent être surestimés. En effet, bien que l'objectif soit de représenter le plus possible la réalité, les mécanismes qui décrivent le fonctionnement d'une opération dans le modèle de simulation, peuvent avoir un impact non négligeable sur les délais.

Temps d'opération des clients

Les résultats obtenus pour les clients Priorité 1 sont présentés dans le tableau 4.5. Les valeurs négatives obtenues pour les bornes inférieures sont conservées ainsi dans le souci d'être conforme à l'amplitude des bornes supérieures.

Tableau 4.5 : Temps d'opération des clients Priorité 1 à l'exportation

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Delai 3	2,0	0	-5,7	64	3,7	35	11,0	1	15,0
Comptoir	5,0	0	0,9	67	6,6	31	12,4	2	15,0
	7,0		-2,9		10,3		23,4		30,0

Observation : Le délai 3 correspond au temps d'attente du client au comptoir avant d'être servi par l'agent. Les clients Priorité 1 passent en moyenne 10,3 min au comptoir. 98% des clients Priorité 1 passent moins de 23,4 min dans l'entrepôt.

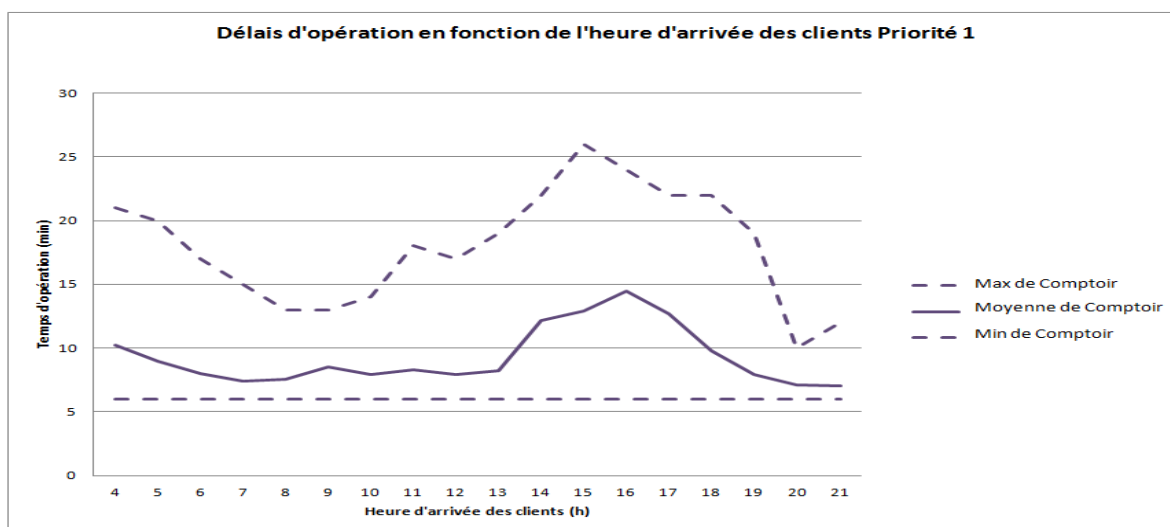


Figure 4.3 : Temps d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des clients Priorité 1 à l'exportation

Observation : Les clients Priorité 1 qui se présentent entre 14 h et 17 h peuvent attendre jusqu'à 22 min au comptoir. Cette période de pointe s'intègre bien avec la période de pointe déterminée pour les marchandises. Les données en abscisse vont de 4 h à 21 h. Pratiquement aucun client ne se présente à l'entrepôt en dehors de cette plage.

Tableau 4.6 : Temps d'opération des clients Standard à l'exportation

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Réception	2,0	0	-37,4	73	9,9	24	51,1	3	124,0
Délai 3	0,0	0	-10,4	70	2,9	30	16,2	0	55,0
Comptoir	5,0	0	-10,2	74	8,8	23	27,7	3	70,0
	7,0		-56,0		21,5		99,0		249,0

Observation : Les clients Standard effectuent en moyenne 21,5 min au comptoir. Environ 73% d'entre eux réalisent un temps de processus inférieur à la moyenne. La borne supérieure est nettement inférieure aux valeurs maximales. Celles-ci (3 % des clients) peuvent représenter des cas exceptionnels qui ne se sont pas forcément produits à l'entrepôt. Il est important de rappeler que le nombre de clients n'étant pas connu, certaines hypothèses ont été émises au Chapitre 3 pour le déterminer. La figure 4.4 démontre bien l'impact de ces valeurs maximales.

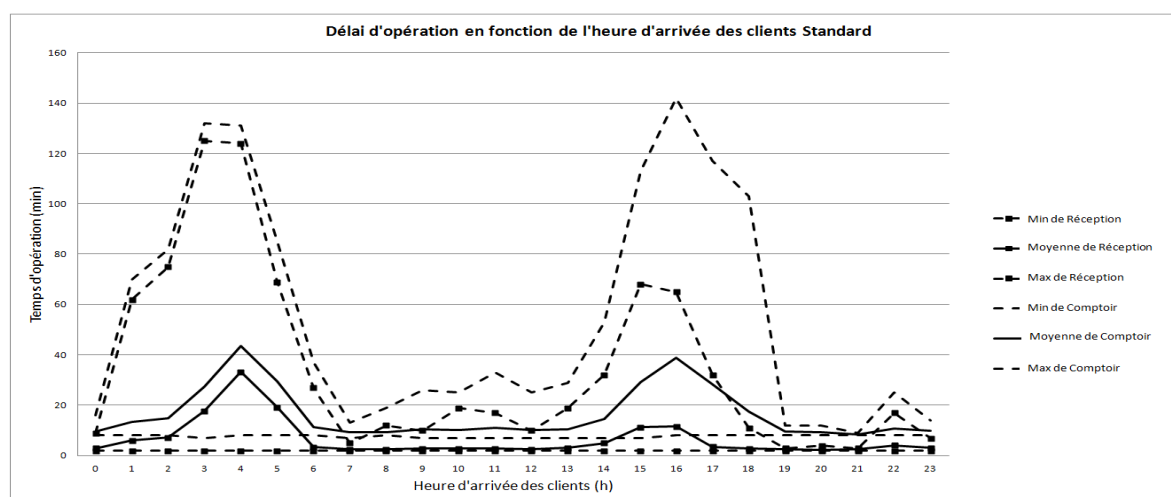


Figure 4.4 : Temps d'opération en fonction du temps d'arrivée des clients Standard à l'exportation

Observation : Les temps d'opération atteignent des valeurs maximales entre 2 h et 4 h et entre 15 h et 18 h. Les clients Standard restent dans l'entrepôt au maximum 140 min à ces périodes. Ce temps est nettement supérieur aux valeurs moyennes. Ces écarts sont le résultat de l'impact des valeurs maximales observées dans le tableau 4.6 (3 % de clients sont concernés).

Conclusion : Aux heures de pointe, les clients Standard et Priorité 1 ont un délai de processus très élevé. Ces résultats sont dus aux temps d'opération dont les valeurs sont situées au-delà des bornes supérieures. Sur la base des observations faites, de longues files d'attente peuvent se créer à ces heures de pointe. Le modèle de simulation est fidèle au comportement de 97 % des clients.

4.2.2 Analyse des résultats à l'importation

Temps d'opération des marchandises

Les résultats obtenus à l'importation pour les marchandises Priorité 1 sont présentés dans les tableaux et les figures ci-dessous. Le tableau 4.7 présente les temps d'opération des marchandises Priorité 1 à l'importation. Le délai 1 correspond au temps d'attente de la marchandise à l'aéroport avant d'être récupéré par le courrier. Le délai 2 correspond au temps d'attente de la marchandise avant la déconstruction.

Tableau 4.7 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 à l'importation

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Délai 1	6,0	0	4,5	56	10,4	44	16,3	1	20,0
Courrier	16,0	0	-5,0	63,3	27,4	34,3	59,8	2,4	106,0
Délai 2	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Déconstruction	0,0	0	-41,4	86	13,4	10	68,2	3	162,0
	22,0		-42,0		51,2		144,3		288,0

Observation : En moyenne, les marchandises Priorité 1 ont un temps de processus de 51 min. L'opération du courrier occupe la moitié de la durée totale du processus. 98 % des marchandises transportées par le courrier sont livrées en moins d'une heure. Le délai 2 est nul car le modèle est

conçu de sorte que la déconstruction puisse commencer dès l'arrivée du courrier à l'entrepôt. 86 % des marchandises ont un temps de déconstruction inférieur à la moyenne. Cette proportion est inférieure pour l'opération de courrier. En effet, il est possible de statuer que cette opération constitue le goulot d'étranglement car il occupe une bonne proportion du temps moyen. La figure 4.5 permet de déterminer à quelle période de la journée les valeurs maximales sont obtenues.

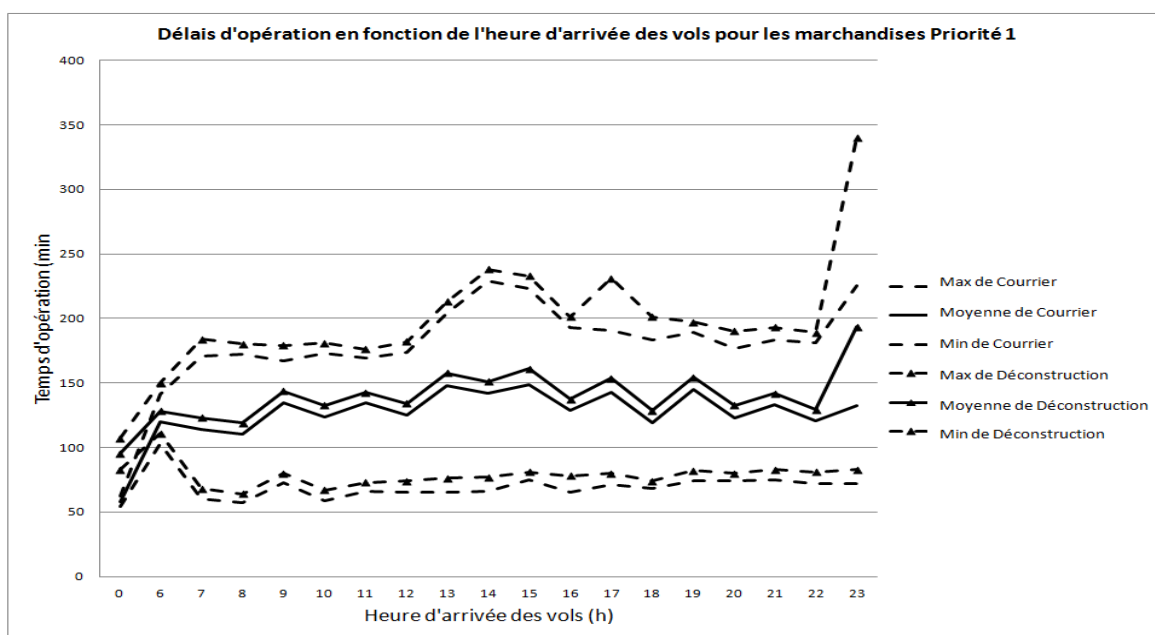


Figure 4.5 : Temps d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des marchandises Priorité 1 à l'importation

Observation : Les marchandises reçues entre 13 h et 15 h ont un temps d'opération très élevé (environ 80 min de plus que la moyenne). Les délais générés à l'opération du courrier ont un impact direct sur l'opération de déconstruction. Il faut remarquer que l'évolution des deux courbes au cours d'une journée est identique. Une période de pointe est observée entre 22 h et 23 h. Durant la nuit le personnel est considérablement réduit, ce qui augmente le temps moyen de traitement des marchandises. La figure 3.12 démontre que les marchandises sont reçues à cette

période. Ainsi le modèle a généré plus de marchandises que la normale, ce qui justifie aussi les délais maximaux obtenus au tableau 4.7.

Les résultats obtenus à l'importation pour les marchandises en vrac sont présentés dans les figures ci-dessous.

Tableau 4.8 : Temps d'opération des marchandises Standard en vrac à l'importation

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Délai 1	4,0	0	3,7	43	9,8	56	16,0	1	22,0
Courrier	16,0	0	-0,6	55	26,9	42	54,3	3	106,0
Délai 2	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Déconstruction	0,0	0	-44,8	85	13,6	12	72,0	3	216,0
	20,0		-41,7		50,3		142,2		344,0

Observation : Les marchandises en vrac ont un temps moyen de processus de 50,3 min. De même, 97 % des marchandises sont livrées à l'entrepôt en moins d'une heure. Il faudrait constater que ce temps moyen de processus est similaire au temps moyen des marchandises Priorité 1. Les marchandises en vrac n'étant pas protégées, elles sont transportées le plus tôt possible à l'entrepôt afin de les protéger des intempéries. Pour la simulation, aucune distinction de traitement n'est faite entre les marchandises en vrac et les marchandises Priorité 1. La prochaine figure permet d'observer l'évolution du temps de processus au cours de la journée.

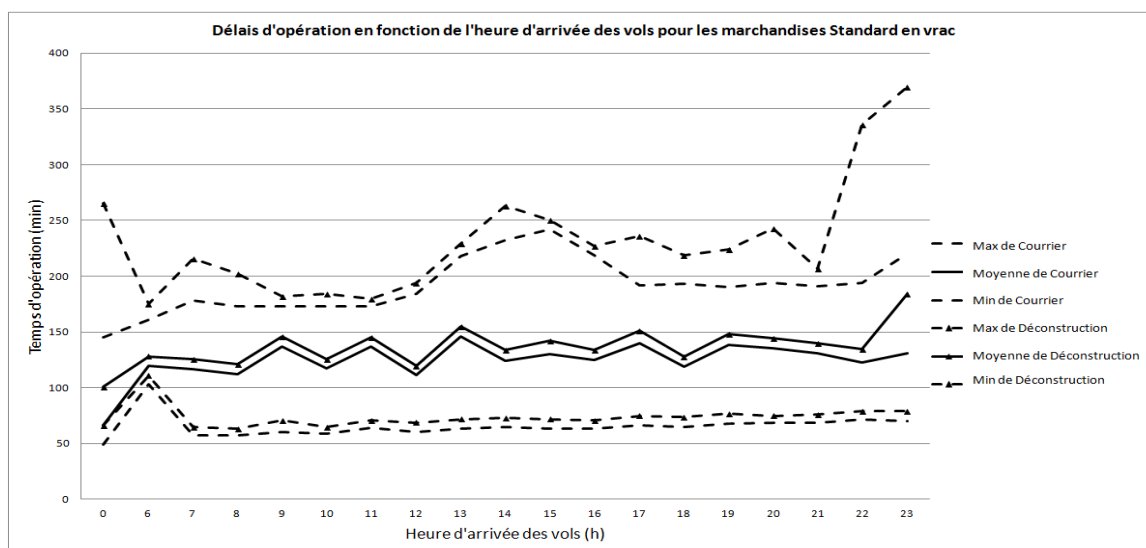


Figure 4.6 : Temps d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des marchandises Standard en vrac à l'importation

Observation : Le temps moyen du processus client reste en dessous de 130 min tout au long de la journée. Les valeurs maximales sont atteintes vers 14 h. Tel que constaté pour les marchandises Priorité 1, une période de pointe est observée de 22 h à 0 h. Durant la nuit le personnel est considérablement réduit, ce qui augmente le temps moyen de traitement des marchandises

Tableau 4.9 : Temps d'opération des marchandises Standard en conteneur à l'importation

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Délai 1	2,0	0	1,6	52	6,2	48	10,9	0	9,0
Courrier	19,0	0	-13,1	71	37,6	26	88,3	3	157,0
"Breezeway"	4,0	0	-15,4	64	11,8	34	38,9	2	82,0
Délai 3	0,0	0	-9,0	66	5,1	31	19,2	2	55,0
Déconstruction	6,0	0	-60,4	74	26,2	24	112,8	2	237,0
	31,0		-96,3		86,9		270,1		540,0

Observation : Le délai 3 représente le temps d'attente des marchandises entre les opérations de « Breezeway » et de déconstruction. En moyenne, le temps d'opération des marchandises en

conteneur est de 90 min. 97 % des marchandises en conteneur sont livrées par le courrier en moins d'une heure et demie.

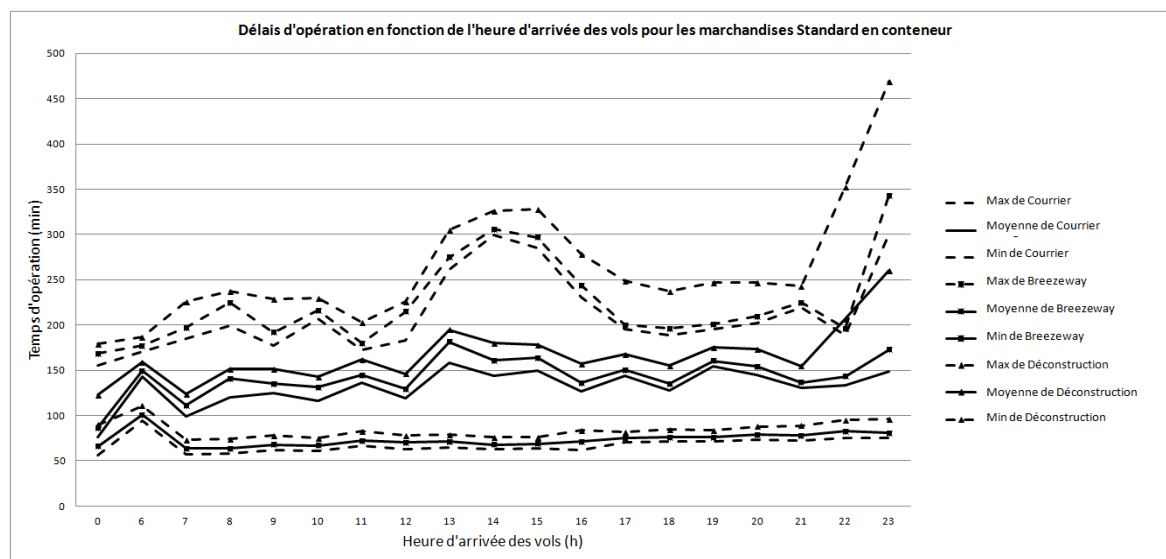


Figure 4.7 : Temps d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des marchandises Standard en conteneur à l'importation

Observation : En moyenne, le temps total du processus est inférieur à 200 min. Des valeurs maximales sont observées entre 13 h et 15 h et entre 22 h et 23 h. En ce qui concerne cette seconde période de pointe, le nombre de marchandises générées au cours de celle-ci est supérieur à la moyenne.

Conclusion : Le temps d'opération du courrier occupe environ 30 % et 50 % du temps total du processus. Ceci dit, le fait que les ressources soient partagées, (importation et exportation) pour l'opération de courrier, a un impact sur la performance de l'entrepôt. Pour toutes les marchandises, les temps d'opération sont élevés en après-midi. Ce constat concorde avec l'observation faite lors de l'analyse des données intrants au Chapitre 3 (Figure 3.12).

Temps d'opération des clients

Les résultats obtenus à l'importation pour les clients Priorité 1 sont présentés dans les tableaux et les figures ci-dessous. Le tableau 4.10 présente les temps d'interaction avec les clients possédant des marchandises Priorité 1. Le délai 4 correspond au temps d'attente du client avant d'être servi au comptoir. Le délai 5 correspond au temps d'attente du client avant l'opération de livraison.

Tableau 4.10 : Temps d'opération des clients Priorité 1 à l'importation

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Délai 4	3,0	0	-2,9	68	4,5	29	12,0	2	16,0
Comptoir	5,0	0	1,7	56	6,8	42	11,8	2	15,0
Délai 5	0,0	0	-44,5	81	11,7	15	67,8	4	117,0
Livraison	0,0	0	-24,4	73	9,9	25	44,2	2	94,0
	8,0		-70,0		32,9		135,8		242,0

Observation : Les marchandises Standard ont un temps moyen de processus de 33 min. Ce délai s'applique pour plus de la moitié des clients. Pour le délai 5 et l'opération de livraison, les bornes supérieures sont nettement supérieures à la moyenne. En effet, la durée de la collecte dépend de la dispersion des marchandises dans l'entrepôt. De plus, le nombre de marchandises estimé pour l'importation peut permettre de justifier les valeurs élevées obtenues (un maximum de 117 min pour le délai 5 et un maximum de 94 min pour la livraison). La prochaine figure présente la variation des temps d'opération dans une journée.

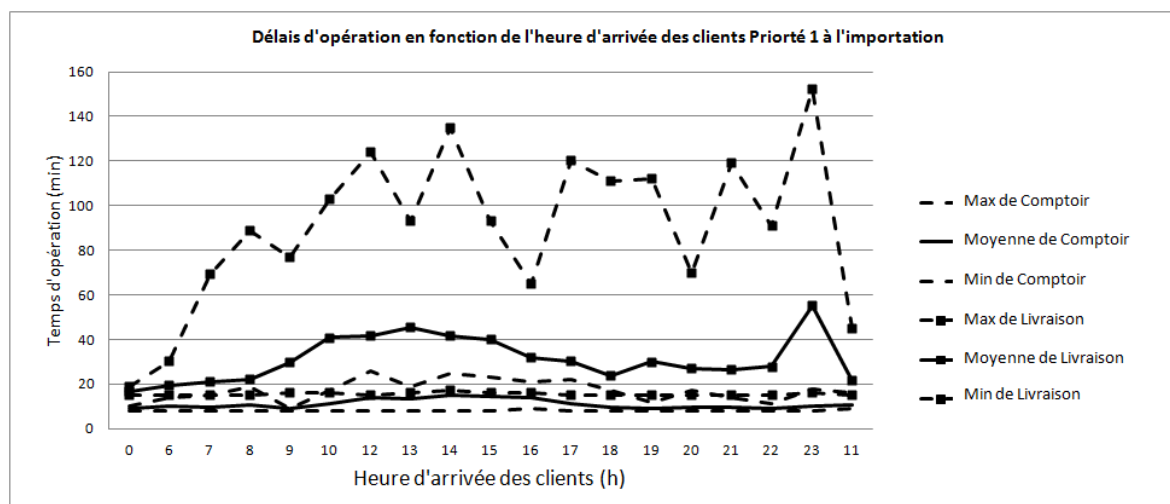


Figure 4.8 : Délais d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des clients Priorité 1 à l'importation

Observation : Le temps total d'opération reste la plupart du temps en dessous de 40 min. L'écart entre les valeurs maximales et les valeurs moyennes est très grand pour l'opération de livraison. Les valeurs maximales sont obtenues tout au long de la journée. Ainsi, la seule justification possible porte sur l'affectation des ressources à l'importation. À cette étape du processus, aucune distinction n'est faite entre les clients.

Tableau 4.11 : Temps d'opération des clients Standard à l'importation

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Délai 4 Comptoir	3,0	0	-16,1	72	6,7	25	29,4	3	62,0
Délai 5 Comptoir	1,0	0	-4,2	75	1,7	23	7,5	2	39,0
Délai 4 Livraison	0,0	0	-43,2	80	11,7	17	66,6	3	120,0
Délai 5 Livraison	0,0	0	-30,7	71	12,5	27	55,7	2	120,0
	4,0		-94,2		32,5		159,3		341,0

Observation : Les clients Standard passent en moyenne 32,5 min dans l'entrepôt. Cette valeur est similaire à celle obtenue pour les clients Priorité 1. Les observations faites pour le tableau 4.10 restent valides dans le cas du présent tableau.

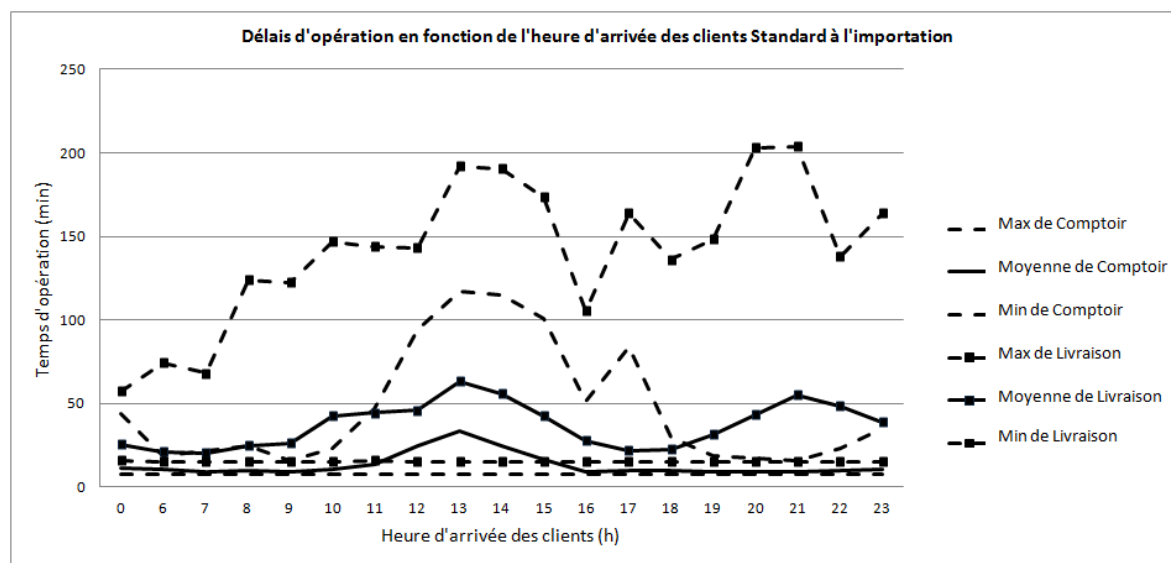


Figure 4.9 : Délais d'opération en fonction de l'heure d'arrivée des clients Standard à l'importation

Observation : Le temps d'attente au comptoir atteint une valeur maximale de 105 min entre 12 h et 15 h. Cette variation a un impact direct sur le temps d'opération à la livraison.

Conclusion : La variation des temps moyens obtenus pour les clients Standard et Priorité 1 au cours d'une journée est la même. Cette similitude s'explique par le fait que tous les clients reçoivent le même service à l'importation. Cependant l'amplitude des courbes est plus élevée pour les opérations liées aux clients Standard. Le nombre de marchandises Standard récupérées est en effet nettement plus élevé que le nombre de marchandises Priorité 1.

4.3 Processus de sécurité

Un nouveau processus de sécurité a été mis en place au début de l'automne 2012. Ce processus de sécurité consiste à inspecter aux rayons X toutes les marchandises à l'expédition. Tous les clients ne sont pas concernés par cette inspection. Une nouvelle classification des clients est ainsi considérée : les clients accrédités et les clients non-accrédités. Les premiers représentent ceux qui possèdent une accréditation émise par Transport Canada. Celle-ci leur donne le droit d'effectuer eux-mêmes l'inspection des marchandises avant leur expédition. Cette opération est prise en charge par l'entrepôt cargo pour les clients ne possédant pas l'accréditation de Transport Canada. Les changements apportés à la situation initiale portent sur les opérations effectuées à la réception.

Tous les clients se présentant à l'entrepôt doivent passer par le poste de triage avant de se rendre au comptoir. L'agent affecté à ce poste identifie les clients accrédités et ceux qui ne le sont pas. Aucune nouvelle ressource n'ayant été allouée, ce poste est occupé par l'un des agents au comptoir. Suite aux discussions avec cargo, le temps moyen estimé pour cette opération de triage est de 1,5 min. Pour la simulation, ce temps d'opération est représenté par une loi uniforme dont la valeur minimale est 1 min et la valeur maximale 3 min. Par la suite, les clients se dirigent vers le comptoir et effectuent les transactions nécessaires à l'expédition de leurs marchandises. Un temps supplémentaire a été rajouté à l'opération au comptoir, afin de couvrir les nouvelles transactions liées au nouveau processus. Ce temps suit une loi uniforme continue d'une valeur minimale de 1 min et d'une valeur maximale de 2 min.

Les marchandises des clients accrédités suivent le processus initial tandis que les autres marchandises sont transportées vers la station de vérification aux rayons X. Le transport des marchandises vers la zone d'inspection est pris en charge par les employés assignés à la réception. L'opération de vérification aux rayons X n'est pas effectuée par les employés de l'entrepôt. Le délai estimé pour ce déplacement suit une loi uniforme continue dont la valeur minimale est 1 min et la valeur maximale 3 min.

Cette sous-section présente les résultats obtenus à l'exportation pour le nouveau processus. Les temps d'opération à l'importation ne sont pas évalués à cette étape, car aucune modification n'est effectuée à l'importation. Cependant, il est important de noter que ce processus peut avoir un impact sur les opérations à l'importation car les ressources sont réduites au comptoir et les nouvelles opérations intégrées peuvent générer un délai sur les opérations des courriers.

4.3.1 Analyse des temps d'opération des marchandises (processus de sécurité)

Les résultats obtenus pour les marchandises expédiées par les clients accrédités sont présentés dans les figures ci-dessous.

Tableau 4.12 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients accrédités

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-39,3	64	15,9	34	71,1	2	98,0
Réception	4,0	0	-99,2	72	37,9	26	175,0	2	404,0
Délai 1	0,0	0	-6,8	87	0,8	9	8,4	3	18,0
Consolidation	2,0	0	-5,6	64	4,9	33	15,3	3	26,0
Délai 2	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0
Courrier	21,0	0	10,0	53	31,7	46	53,4	1	87,0
	29,0		-139,9		92,2		324,2		634,0

Observation : Le temps moyen d'opération est de 92,2 min. Les opérations à la réception peuvent atteindre une valeur maximale de 175 min pour 98 % des marchandises.

Les opérations à la réception sont plus affectées par les changements liés au nouveau processus. Ainsi, la prochaine figure présente la variation du temps d'opération au triage et à la réception en fonction de l'heure d'arrivée des clients. Celle-ci permet d'observer l'impact de ces changements au cours de la journée.

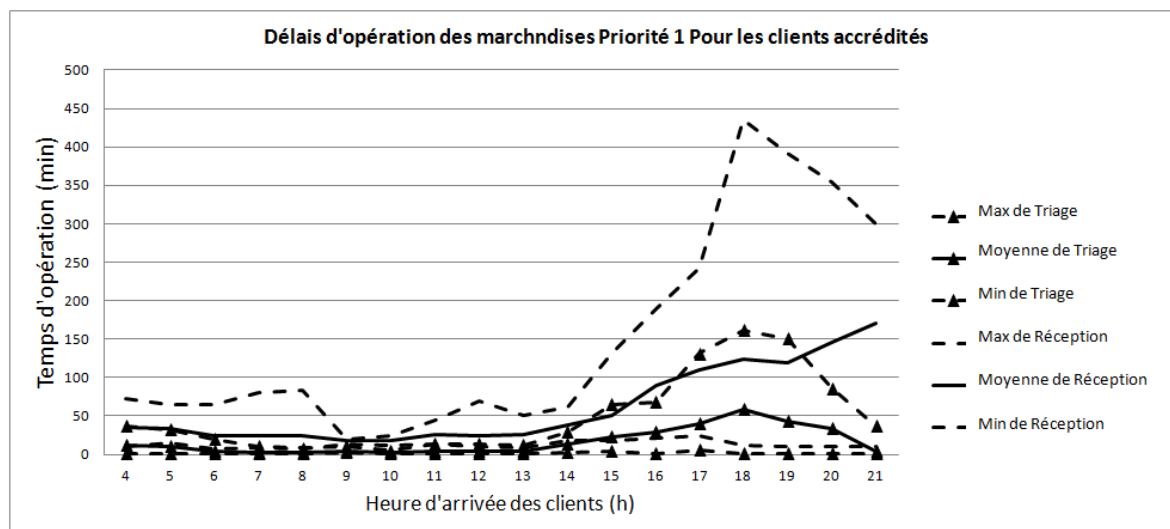


Figure 4.10 : Délais des opérations au triage et à la réception pour les marchandises Priorité 1 des clients accrédités

Observation : Entre 16 h et 19 h, les temps d'opération sont très élevés. Bien qu'en moyenne 3% des marchandises soient au-delà des bornes supérieures, ce graphique décrit la variation des temps d'opération en fonction de l'heure d'arrivée pour 97 % des marchandises. Les temps d'opération au-delà des bornes supérieures sont obtenus vers 18h. Il s'agit d'une période de pointe préalablement identifiée pour l'ancien processus. Les nouvelles opérations viennent s'ajouter aux délais initiaux (temps d'opération à la réception avant la mise en place du nouveau processus). Dans l'ancien processus, la période de pointe se situait entre 15 h et 18 h. On perçoit donc une translation d'une heure de la période de pointe dans le nouveau processus.

Tableau 4.13 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients accrédités

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	50	0,0	0	-11,8	50	15,3	50	42,4	0	35,0
En retard	50	-404,0	3	-235,5	32	-51,7	65	132,2	0	-1,0

Observation : La proportion des marchandises en retard est de 50 %. L'ajout de l'opération de triage a un impact très important sur la performance de l'entrepôt. Ainsi, les clients qui se présentent juste une heure avant le départ du vol ont de fortes chances de voir leur marchandise partir l'heure suivante, car le retard moyen est de 52 min. Ce constat vient étayer l'observation faite à la figure précédente : une translation de 1h. De plus, 44 % des marchandises considérées à l'heure pour l'ancien scénario sont en retard dans le nouveau scénario. Par conséquent, il est possible d'avancer que 44 % des marchandises sont présentées à la réception juste une heure avant le départ du vol.

Tableau 4.14 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients accrédités

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-23,7	66	13,0	33	49,8	2	113,0
Réception	6,0	0	-81,5	58	67,3	42	216,1	0	353,0
Délai 1	0,0	0	-77,9	76	10,3	22	98,5	3	276,0
Consolidation	1,0	0	-122,1	72	32,6	26	187,3	2	679,0
Délai 2	0,0	0	-81,6	58	47,4	42	176,4	1	393,0
Courrier	17,0	0	-225,9	72	85,7	25	397,2	3	656,0
	25,0		-612,7		256,3		1125,3		2470,0

Observation : En moyenne le temps d'opération est de 256 min. Cette moyenne est supérieure au temps minimum de remise exigé par la compagnie (240 min). Le temps moyen d'opération du courrier a augmenté d'environ 50 min comparativement au temps moyen obtenu pour l'ancien processus. Les délais générés en début de processus ont pour conséquence que l'opération de courrier débute à une période de pointe (aussi bien à l'importation qu'à l'exportation). La figure 4.11 présente la variation des temps d'opération (trilage et réception) au cours de la journée.

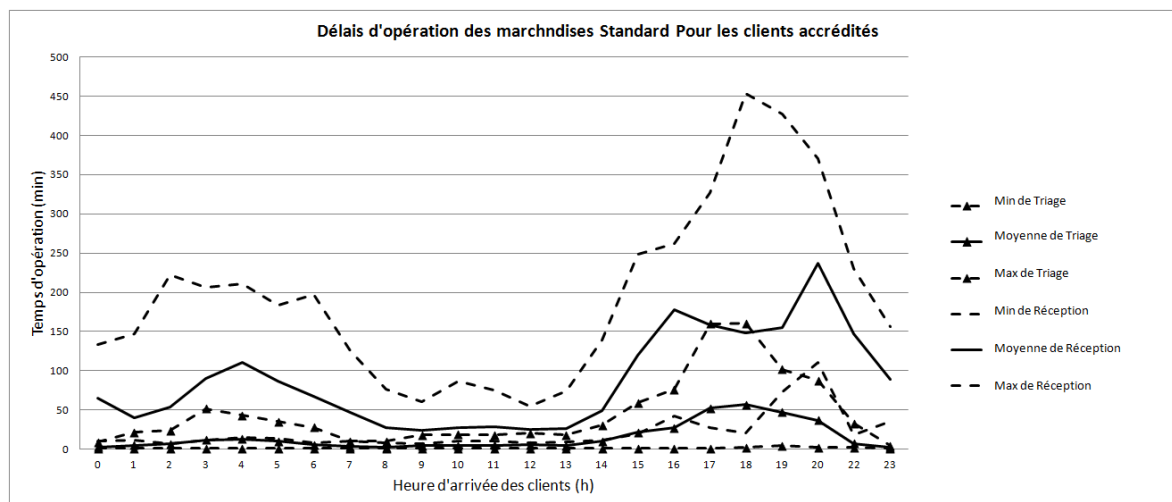


Figure 4.11 : Délais des opérations à la réception pour les marchandises Standard des clients accrédités

Observation : Tel qu'observé pour les marchandises Priorité 1 le délai d'opération peut être très élevé pour les marchandises Standard entre 2 h et 7 h et entre 15 h et 18 h. Les valeurs maximales identifiées au tableau 4.14 sont obtenus à ces périodes.

Tableau 4.15 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Standard pour les clients accrédités

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	69	0,0	0	-49,5	56	76,9	44	203,4	0	399,0
En retard	31	-967,0	1	-755,4	35	-199,0	64	357,5	0	-1,0

Observation : Le retard moyen est de 199 min. Ce délai est élevé par rapport à celui obtenu lors de l'analyse du scénario initial (72,4 min), de même que le taux de retard.

Les résultats obtenus pour les marchandises expédiées par les clients non accrédités sont présentés dans les figures ci-dessous.

Tableau 4.16 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients non-accrédités

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-41,2	66	16,0	31	73,2	2	98,0
Rayons X	5,0	0	2,9	50	6,7	48	10,4	2	13,0
Réception	3,0	0	-99,3	70	36,7	27	172,7	3	366,0
Délai 1	0,0	0	-5,0	92	0,4	4	5,8	4	15,0
Consolidation	2,0	0	-4,1	64	4,6	34	13,4	2	22,0
Délai 2	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0
Courrier	21,0	0	9,5	53	31,9	46	54,4	1	86,0
	33,0		-136,1		97,3		330,8		601,0

Observation : L'opération de vérification aux rayons X a une durée moyenne de 6.7 min. La proportion de cette opération est faible par rapport aux autres. La différence entre le temps moyen de processus des marchandises Priorité 1 des clients non accrédités et celui des clients accrédités est sensiblement égale au temps de vérification aux rayons X (5,1 min).

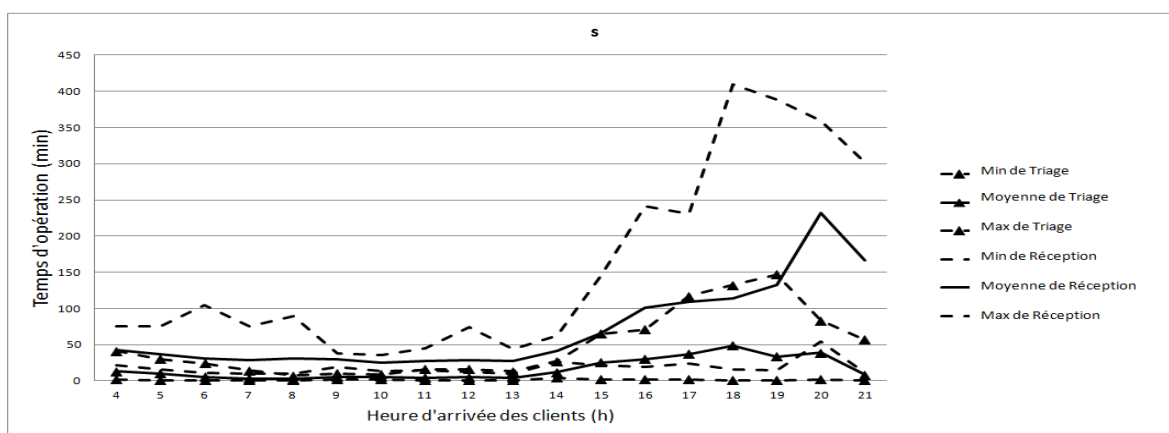


Figure 4.12 : Délais des opérations à la réception pour les marchandises Priorité 1 des clients non accrédités

Observation : Les délais d'opération à la réception augmentent entre 15 h et 18 h. L'allure des courbes de cette figure et celles de la figure 4.10 sont similaires.

Tableau 4.17 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients non-accrédités

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	42	0,0	0	-13,2	55	14,1	45	41,4	0	35,0
En retard	58	-347,0	3	-227,5	32	-51,4	65	124,8	0	-1,0

Observation : 65 % des marchandises en retard ont un délai de retard inférieur à une heure. Le retard moyen est sensiblement le même pour toutes les marchandises Priorité 1. De ce fait, il est difficile d'inciter les clients Priorité 1 à s'enquérir de l'accréditation sur la base que leurs marchandises seraient expédiées dans les délais. Avec ce nouveau processus, l'entrepôt ne peut plus garantir le délai de remise d'une heure pour les marchandises Priorité 1.

Tableau 4.18 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients non-accrédités

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-24,6	63	12,9	35	50,5	2	136,0
Rayons X	5,0	0	3,0	47	6,7	51	10,5	2	14,0
Réception	3,0	0	-82,1	57	66,3	42	214,6	0	424,0
Délai 1	0,0	0	-72,2	79	8,5	19	89,2	2	269,0
Consolidation	1,0	0	-116,6	72	33,3	26	183,2	2	660,0
Délai 2	0,0	0	-83,3	58	45,0	41	173,3	1	349,0
Courrier	17,0	0	-220,8	72	84,5	25	389,9	3	656,0
	27,0		-596,5		257,3		1111,2		2508,0

Observation : Les délais d'opération sont la plupart du temps inférieurs aux valeurs moyennes. Cependant les valeurs maximales sont très élevées. Le temps moyen d'opération est pratiquement le même pour toutes les marchandises Standard. Mise à part l'opération de vérification aux rayons X, les délais 1 et 2 ont sensiblement diminué pour les marchandises des clients non accrédités.

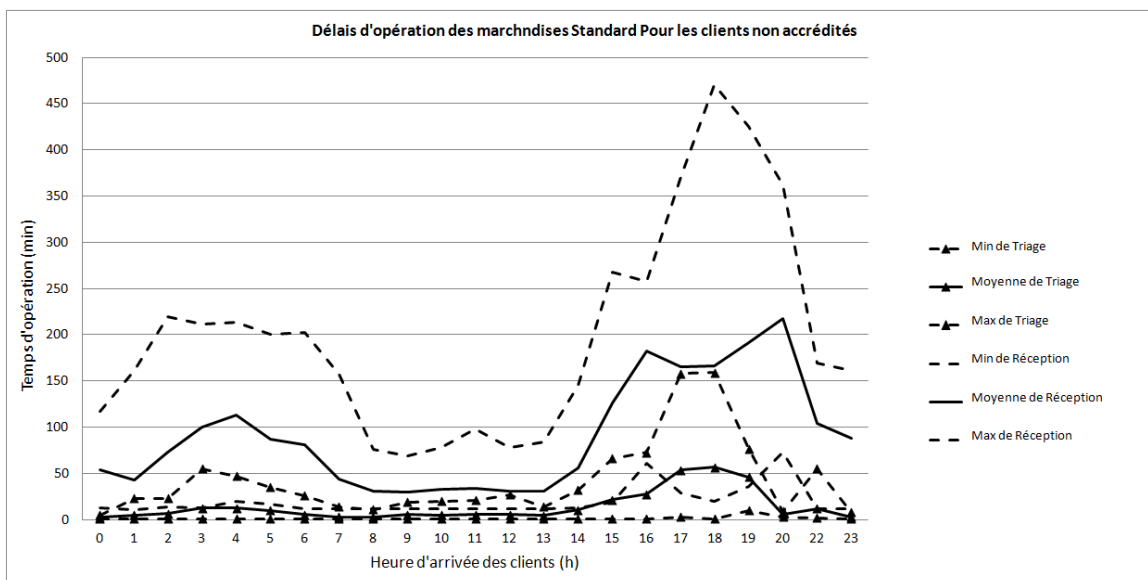


Figure 4.13 : Délais des opérations à la réception pour les marchandises Standard des clients non-accrédités

Observation : Les délais d'opération à la réception augmentent entre 15 h et 18 h. Dans cette période, l'écart entre les valeurs maximales et minimales est très élevé. Il est important de noter que l'amplitude et l'allure de cette figure est la même que celle observée pour la figure 4.11.

Tableau 4.19 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Standard pour les clients non accrédités

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	68	0,0	0	-45,9	59	76,9	41	199,8	0	307,0
En retard	32	-1241,0	0	-748,8	34	-192,4	65	345,8	0	-1,0

Observation : En moyenne, 68 % des marchandises sont livrées à l'aéroport avec 77 min d'avance. Le retard moyen est le même pour toutes les marchandises Standard. Il est possible de garantir la livraison des marchandises avec la nouvelle assignation des ressources.

Conclusion : De manière générale, le nouveau processus entraîne une forte augmentation des temps d'opération à la réception. De plus, en raison de l'opération de triage et de vérification aux

rayons X, les marchandises effectuent un plus long séjour dans l'entrepôt avant d'être transportées à l'aéroport. Ce nouveau processus ne permet pas de livrer les marchandises aux heures prévues initialement. Pour l'ensemble des marchandises, la période de pointe se situe entre 15 h et 18 h. Les faibles différences observées entre les marchandises des clients accrédités et celles des clients qui ne le sont pas permettent d'avancer que l'accréditation fournie par Transport Canada ne peut pas être un incitatif commercial. Par exemple, le temps moyen pour les marchandises standard est de 256 min pour les clients accrédités et de 257 min pour les clients non-accrédités. De plus, afin de garantir l'expédition des marchandises à l'heure à l'aéroport, au moins 40 % des clients doivent se présenter une heure plus tôt à l'entrepôt.

4.3.2 Analyse des temps d'interaction avec les clients (processus de sécurité)

Les résultats obtenus pour les clients sont présentés dans les tableaux ci-dessous. Pour cette analyse, aucune distinction n'est faite entre les clients, tous les clients (accrédités et non-accrédités) suivent le même processus. La différence est basée uniquement sur le type de service offert au client.

Tableau 4.20 : Temps d'opération des clients Priorité 1 pour le nouveau scénario

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	2,0	0	-54,2	69%	19,4	29	92,9	2	163,0
Délai 3	0,0	0	-8,8	58%	4,4	41	17,7	1	28,0
Comptoir	6,0	0	-2,4	60%	10,9	39	24,2	1	36,0
	8,0		-65,5		34,7		134,8		227,0

Observation : Les clients Priorité 1 attendent plus de la moitié du temps au triage.

Tableau 4.21 : Temps d'opération des clients Standard pour le nouveau scénario

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	2,0	0	-36,8	67	17,1	31	71,1	2	162,0
Réception	0,0	0	-74,2	58	34,9	41	144,1	0	191,0
Délai 3	0,0	0	-44,9	73	10,0	24	64,9	3	160,0
Comptoir	6,0	0	-46,8	77	19,3	20	85,3	3	174,0
	8,0		-202,7		81,4		365,4		687,0

Observation : Les clients Standard passent en moyenne 81 min dans l'entrepôt.

Conclusion : L'opération de triage a un impact sur le temps que passent les clients dans l'entrepôt. Les clients Standard sont plus affectés car leur temps d'opération à la réception peut être très élevé. Le fait que les ressources soient réduites au comptoir a un impact sur le temps d'attente des clients.

4.4 Conclusion

Les données générées lors de la simulation du scénario de base sont représentatives des temps d'opération pour une majorité des marchandises et des clients. De manière globale, les temps d'opération obtenus sont inférieurs aux valeurs moyennes. Contrairement au scénario de base, l'analyse des résultats révèle des temps d'opération plus élevés que la moyenne pour le nouveau scénario. De plus, la proportion des marchandises en retard a augmenté pour ce nouveau processus. En effet, l'heure d'arrivée des clients a été conservée et de nouvelles opérations ont été ajoutées à la réception. Ces modifications peuvent justifier le taux élevé des marchandises en retard à l'aéroport. La même période de pointe est observée entre 15 h et 18 h pour toutes les marchandises. Face à cela, la première solution serait d'augmenter le nombre de ressources. La seconde solution proposée serait d'aplanir la demande en incitant les clients à se présenter à l'entrepôt en début de journée. Le prochain chapitre évaluera ces scénarios.

CHAPITRE 5 : ANALYSE DE SCÉNARIOS

Dans ce chapitre, nous utiliserons la simulation pour évaluer les différents scénarios permettant d'améliorer les temps d'opération après la mise en place du nouveau processus de vérification des marchandises non accréditées.

5.1 Scénario 1 : Ajout d'un employé au comptoir

À la mise en place du nouveau processus, le nombre d'employés au comptoir a été réduit à deux. Les clients les plus affectés par ce changement sont ceux qui se présentent pour l'expédition de marchandises avec le service Standard. Les étiquettes d'identification des marchandises ne sont apposées que lorsque le client a terminé sa transaction au comptoir. Cette étape est incluse dans l'opération de réception. Entre la situation initiale et le nouveau processus, le temps d'interaction avec le client Standard est passé de 21.5 min à 81.4 min. Il est possible de stipuler que l'opération de réception pourrait être affectée par ce délai supplémentaire au comptoir. Le premier scénario consiste à ramener à trois le nombre d'employés au comptoir. Le nouvel employé aura le même horaire que celui qui a été transféré au triage. Initialement, l'assignation des employés est établie de sorte que l'employé du triage puisse aider les agents au comptoir. En ajoutant un nouvel employé, cette option a été retirée car le nombre d'ordinateurs limite à trois le nombre d'employé au comptoir. Dans ce cas, l'agent au triage est totalement consacré à sa tâche.

Pour l'ensemble des scénarios à analyser, seuls les temps de processus des marchandises et les temps d'interaction avec les clients à l'exportation sont présentés. L'attention est principalement portée sur l'amplitude des courbes plutôt que sur leur comportement dans le temps. L'objectif pour tous les scénarios reste le même : l'amélioration des temps de processus des marchandises à l'intérieur de l'entrepôt.

5.1.1 Analyse des temps d'opération des marchandises à l'exportation (scénario 1)

Les résultats obtenus pour les marchandises expédiées par les clients accrédités sont présentés dans les tableaux suivants. La description des délais 1 et 2 énoncée au chapitre 4 est applicable pour ce chapitre.

Tableau 5.1 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients accrédités (scénario 1)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-13,1	78	4,7	18	22,5	4	35,0
Réception	6,0	0	-93,2	75	31,9	23	157,1	2	384,0
Délai 1	0	0	-7,1	86	0,9	10	8,8	4	17,0
Consolidation	2,0	0	-5,6	69	5,3	29	16,2	2	21,0
Délai 2	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0
Courrier	21,0	0	11,0	56	31,4	43	51,7	1	77,0
	31,0		-106,9		75,2		257,3		535,0

Observation : Le temps moyen du processus des marchandises Priorité 1 expédiées par les clients accrédités est amélioré de 17 min comparativement à celui obtenu dans l'analyse précédente (92,2 min). En ajoutant un employé au comptoir, le temps d'attente des marchandises au triage est considérablement réduit.

Tableau 5.2 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients accrédités (scénario 1)

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	66	0	0	-11,7	50	14,9	50	41,5	0	35,0
En retard	34	-342,0	4	-220,0	16	-32,7	80	154,7	0	-1,0

Observation : Les données de ce tableau viennent corroborer l'observation faite sur le temps moyen de processus. Le pourcentage de marchandises disponible avant le départ du vol a augmenté de 16%.

Tableau 5.3 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients accrédités (scénario 1)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-14,0	67	7,3	31	28,6	2	44,0
Réception	3,0	0	-85,1	58	67,5	42	220,1	0	418,0
Délai 1	0	0	-73,4	73	10,8	25	94,9	2	271,0
Consolidation	1,0	0	-129,8	74	33,1	24	196,0	2	685,0
Délai 2	0,0	0	-77,9	57	47,2	43	172,4	1	387,0
Courrier	17,0	0	-204,2	73	76,5	24	357,1	3	632,0
	22,0		-584,4		242,4		1069,1		2437,0

Observation : Le temps moyen de processus pour ces marchandises a été amélioré de 14 min. La réduction du temps de processus peut agir sur les délais de disponibilité des marchandises à l'aéroport. En effet, le temps d'opération au triage a été nettement amélioré. Il est important de noter que pour ce scénario, le temps moyen est très proche du délai minimum de remise pour les marchandises Standard.

Tableau 5.4 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Standard pour les clients accrédités (scénario 1)

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	71	0	0	-46,7	55	78,8	44	204,3	1	388,0
En retard	29	-802,0	1	-710,4	33	-179,7	66	350,9	0	-1,0

Observation : En ajoutant un employé au comptoir, le pourcentage de marchandises disponibles avant le départ du vol a augmenté de 2%.

Conclusion : L'ajout d'un employé supplémentaire au comptoir a plus d'impact sur les marchandises expédiées avec le service Priorité 1 que celles expédiées avec le service Standard.

Les résultats obtenus pour les marchandises expédiées par les clients non accrédités sont présentés dans les prochains tableaux.

Tableau 5.5 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients non accrédités (scénario 1)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-13,1	78	4,6	20	22,3	2	38,0
Rayons X	5,0	0	2,9	48	6,7	50	10,6	2	12,0
Réception	1,0	0	-112,8	75	33,3	22	179,4	3	428,0
Délai 1	0	0	-5,2	91	0,5	6	6,2	3	16,0
Consolidation	2,0	0	-6,1	70	5,2	28	16,5	2	39,0
Délai 2	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0
Courrier	21,0	0	8,5	53	31,6	46	54,8	1	115,0
	31,0		-125,0		82,9		290,7		649,0

Observation : Le temps moyen du processus a été amélioré de 14,4 min comparativement aux résultats du chapitre précédent. Cependant, cette amélioration reste inférieure à celle obtenue pour les clients accrédités. Cela se justifie par le temps supplémentaire engendré par l'opération de vérification aux rayons X.

Tableau 5.6 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients non accrédités (scénario 1)

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	50	0	0	-12,6	52	14,3	48	41,1	0	35,0
En retard	50	-410,0	4	-249,4	15	-39,6	81	170,3	0	-1,0

Observation : En dépit des améliorations dans le temps moyen de processus, la proportion de marchandises en retard est restée inchangée comparativement aux résultats obtenus pour deux employés au comptoir. Pour ce scénario, il est possible d'utiliser ces résultats pour inciter les clients Priorité 1 à demander l'accréditation de Transport Canada.

Tableau 5.7 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients non accrédités (scénario 1)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-13,2	68	7,0	30	27,2	2	45,0
Rayons X	5,0	0	3,0	45	6,8	53	10,6	2	14,0
Réception	2,0	0	-89,8	59	66,0	40	221,9	0	438,0
Délai 1	0	0	-74,5	76	9,6	22	93,8	2	264,0
Consolidation	1,0	0	-111,6	72	31,3	26	174,2	2	669,0
Délai 2	0	0	-78,8	58	46,0	42	170,9	1	384,0
Courrier	17,0	0	-207,1	74	76,2	23	359,4	3	577,0
	26,0		-572,1		242,9		1058,0		2391,0

Observation : Pour ce scénario, le temps moyen de processus reste inchangé pour les deux types de clients.

Tableau 5.8 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité pour les clients non accrédités (scénario 1)

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	72	0	0	-45,2	59	78,8	41	202,8	1	347,0
En retard	28	-756,0	0	-706,0	33	-175,4	67	348,0	0	-1,0

Observation : Pour ce scénario, la proportion de marchandises Standard disponibles avant le départ des vols est pratiquement la même pour tous les clients.

Conclusion : Tel que constaté pour les clients accrédités, l'ajout d'un employé a plus d'impact sur les marchandises expédiées avec le service Priorité 1.

5.1.2 Analyse des temps d'interaction avec les clients (scénario 1)

Les résultats obtenus pour les clients sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 5.9 : Temps d'opération des clients Priorité 1 (scénario 1)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	2,0	0	-11,5	81	5,2	16	20,9	3	39,0
Délai 3	0	0	-6,9	57	3,7	42	14,4	1	24,0
Comptoir	6,0	0	0,8	66	9,4	34	18,0	0	26,0
	8,0		-16,6		18,3		53,2		89,0

Observation : L'ajout d'un employé au comptoir permet de réduire de 16,4 min le temps moyen d'interaction avec les clients Priorité 1.

Tableau 5.10 : Temps d'opération des clients Standard (scénario 1)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	2,0	0	-15,0	67	8,2	31	29,4	2	46,0
Réception	0	0	-89,5	57	45,3	43	180,1	0	219,0
Délai 3	0	0	-28,9	71	5,8	27	40,4	2	131,0
Comptoir	6,0	0	-28,2	78	13,4	19	55,1	3	144,0
	8,0		-159,5		72,7		304,9		540,0

Observation : Il est possible d'observer une réduction de 8,7 min du temps moyen d'interaction avec les clients Standard. Cette diminution est liée à la réduction du temps effectué par le client au triage.

Conclusion : Les améliorations obtenues pour les clients Priorité 1 sont plus importantes que celles constatées pour les clients Standard. Ceci peut s'expliquer par le fait que ces derniers n'ont pas la priorité au comptoir.

5.1.3 Conclusion du scénario 1

De manière générale, l'ajout d'un employé au comptoir a permis de réduire le temps moyen de processus pour toutes les marchandises. En effet, en ajoutant cet employé, le temps d'opération au triage a considérablement diminué. Ce changement n'est pas assez conséquent pour augmenter la proportion de marchandises Priorité 1 expédiées par les clients non accrédités. L'accréditation peut être considérée comme un incitatif commercial pour les clients Priorité 1.

5.2 Scénario 2 : Ajout d'un employé à la réception des marchandises sans ajout au comptoir

Les dernières analyses au chapitre 4 démontrent que la durée des opérations à la réception est très élevée comparativement aux autres opérations. Pour le deuxième scénario, un nouvel employé est ajouté à la réception des marchandises. Le nombre d'employés au comptoir reste inchangé (deux employés). Pour ce scénario, le modèle de simulation permet à l'employé au triage d'aider les employés au comptoir. L'objectif de cette étude de scénario est de déterminer à quelle étape du processus il serait plus avantageux d'ajouter un employé.

5.2.1 Analyse des temps d'opération des marchandises (scénario 2)

Le but principal de cette analyse est d'évaluer les améliorations dans les temps de processus pour le scénario 2. Les résultats obtenus pour les marchandises expédiées par les clients accrédités sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 5.11 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients accrédités (scénario 2)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-55,3	68	20,3	31	95,9	1	148,0
Réception	5,0	0	-88,2	69	36,2	30	160,7	1	406,0
Délai 1	0	0	-7,7	87	0,9	10	9,5	3	18,0
Consolidation	2,0	0	-5,3	79	3,6	18	12,6	3	27,0
Délai 2	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0
Courrier	21,0	0	10,2	51	30,9	48	51,6	1	90,0
	30,0		-145,3		93,0		331,2		690,0

Observation : Le temps moyen du processus des marchandises expédiées par les clients Priorité 1 est le même que celui obtenu au chapitre 4.

Tableau 5.12 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients accrédités (scénario 2)

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	51	0	0	-11,2	46	17,7	54	46,7	0	35,0
En retard	49	-393,0	2	-231,5	40	-57,2	60	117,0	0	-1,0

Observation : La proportion de marchandises à l'aéroport avant le départ du vol est à 50 %. Le modèle de simulation est conçu de telle sorte que l'opération de collage des étiquettes est effectuée par les agents au comptoir. Il est possible d'avancer que cette opération constitue un goulot d'étranglement à cette étape du processus. Assigner cette tâche à l'agent au comptoir pourrait être une piste d'amélioration du temps de processus des marchandises Priorité 1.

Tableau 5.13 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients accrédités (scénario 2)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-35,8	66	16,6	32	69,1	2	148,0
Réception	5,0	0	-63,8	63	46,1	36	155,9	1	367,0
Délai 1	0	0	-78,3	72	12,2	26	102,7	2	280,0
Consolidation	1,0	0	-109,7	73	32,1	25	173,8	2	362,0
Délai 2	0,0	0	-73,4	54	52,0	45	177,4	1	388,0
Courrier	17,0	0	-207,6	75	72,9	21	353,4	4	647,0
	24,0		-568,7		231,9		1032,4		2192,0

Observation : Le temps moyen de processus pour ces marchandises a été amélioré de 25,4 min. La réduction du temps de processus peut agir sur les délais de disponibilité des marchandises à l'aéroport. En effet, le temps d'opération à la réception a été nettement amélioré. Il est important de noter que pour ce scénario, le temps moyen est inférieur au délai minimum de remise pour les marchandises Standard.

Tableau 5.14 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Standard pour les clients accrédités (scénario 2)

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	76	0	0	-43,3	56	76,7	44	196,7	0	326,0
En retard	24	-858,0	1	-689,7	35	-183,2	64	323,3	0	-1,0

Observation : En ajoutant un employé à la réception, la proportion de marchandises disponibles à l'aéroport avant le départ du vol a augmenté de 7 %.

Conclusion : L'ajout d'un employé supplémentaire à la réception a plus d'impact sur les marchandises expédiées avec le service Standard que celles expédiées avec le service Priorité 1.

Les résultats obtenus pour les marchandises expédiées par les clients non accrédités sont présentés dans les prochains tableaux.

Tableau 5.15 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients non accrédités (scénario 2)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-56,8	68	20,4	30	97,7	2	121,0
Rayons X	5,0	0	3,4	63	6,3	35	9,3	2	11,0
Réception	2,0	0	-111,8	71	38,4	26	188,7	3	364,0
Délai 1	0,0	0	-6,9	90	0,7	7	8,3	3	17,0
Consolidation	2,0	0	-4,1	77	3,5	21	11,2	2	27,0
Délai 2	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0
Courrier	21,0	0	9,6	53	31,7	46	53,9	1	71,0
	32,0		-165,7		102,2		370,0		612,0

Observation : Le temps moyen du processus a augmenté de 5 min comparativement aux résultats du chapitre précédent.

Tableau 5.16 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients non accrédités (scénario 2)

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	45	0,0	0	-12,2	50	15,5	50	43,3	0	35,0
En retard	55	-342,0	3	-279,9	40	-70,1	57	139,6	0	-1,0

Observation : La proportion de marchandises en retard a augmenté comparativement aux résultats obtenus au chapitre précédent. La forte proportion de marchandises en retard est due à l'augmentation du temps de processus des marchandises Priorité 1 des clients non accrédités.

Tableau 5.17 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients non accrédités (scénario 2)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-36,1	68	17,0	30	70,1	2	145,0
Rayons X	5,0	0	3,4	59	6,4	40	9,4	1	13,0
Réception	2,0	0	-68,6	62	47,2	37	163,0	1	361,0
Délai 1	0,0	0	-79,6	75	10,5	22	100,7	3	269,0
Consolidation	1,0	0	-110,0	71	32,6	27	175,3	2	413,0
Délai 2	0,0	0	-74,1	56	49,2	44	172,4	0	344,0
Courrier	17,0	0	-223,3	76	77,3	20	378,0	4	634,0
	26,0		-588,4		240,2		1068,9		2179,0

Observation : Pour ce scénario, le temps moyen de processus reste inchangé pour les deux types de clients.

Tableau 5.18 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Standard pour les clients non accrédités (scénario 2)

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	74	0	0	-42,6	57	76,7	43	196,0	0	347,0
En retard	26	-814,0	1	-698,6	36	-192,1	63	340,7	0	-1,0

Observation : Pour ce scénario, la proportion de marchandises Standard disponibles avant le départ des vols est légèrement supérieure à celle observée au tableau 5.14. En effet, le temps moyen de processus des marchandises expédiées par les clients non accrédités est légèrement supérieur à celui obtenu pour les clients accrédités.

Conclusion : Tel que constaté pour les clients accrédités, l'ajout d'un employé a plus d'impact sur les marchandises expédiées avec le service Standard.

5.2.2 Analyse des temps d'interaction avec les clients (scénario 2)

Les résultats obtenus pour les clients sont présentés dans les tableaux qui suivent.

Tableau 5.19 : Temps d'opération des clients Priorité 1 (scénario 2)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	2,0	0	-67,2	69	23,6	29	112,4	2	172,0
Délai 3	0,0	0	-8,7	60	4,3	39	17,2	1	23,0
Comptoir	6,0	0	-2,2	59	10,9	40	24,0	1	32,0
	8,0		-76,1		38,8		153,7		227,0

Observation : L'ajout d'un employé à la réception n'a pratiquement pas d'impact sur le temps d'interaction avec les clients Priorité 1.

Tableau 5.20 : Temps d'opération des clients Standard (scénario 2)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	2,0	0	-50,9	67	21,5	31	91,8	2	184,0
Réception	0,0	0	-72,8	81	14,7	16	102,2	3	209,0
Délai 3	0,0	0	-50,2	75	12,3	22	74,7	3	150,0
Comptoir	6,0	0	-44,6	74	20,2	23	85,1	3	168,0
	8,0		-216,5		68,7		353,9		711,0

Observation : Il est possible d'observer une réduction de 12.7 min du temps moyen d'interaction avec les clients Standard. Cette diminution est liée à la réduction du temps effectué par le client à la réception.

Conclusion : Les améliorations pour les clients Standard sont plus importantes que celles constatées pour les clients Priorité 1. Ceci peut s'expliquer par le fait que ces derniers ne sont pas concernés par les opérations à la réception. En effet, les clients Priorité 1 se présentent directement au comptoir avec leurs marchandises.

5.2.3 Conclusion du scénario 2

L'ajout d'un employé à la réception a permis de réduire le temps moyen de processus pour toutes les marchandises Standard. En effet, les marchandises Standard sont plus concernées par les opérations à la réception que celles expédiées avec le service Priorité 1. Sur la base des résultats obtenus, il y a très peu de différence entre les marchandises expédiées par les clients accrédités et ceux non accrédités. Ainsi, pour ce scénario l'accréditation ne peut être considérée comme un incitatif commercial étant donné que les clients Standard sont moins sensibles aux délais d'expédition. L'observation des résultats obtenus pour les marchandises Priorité 1 a permis de démontrer que l'opération de collage des étiquettes n'est pas concernée par ces améliorations, car le temps d'opération à la réception est toujours supérieur à 30 min. De plus, cette opération ne peut commencer qu'après la fin des transactions effectuées au comptoir par le client. Compte tenu du fait que l'effectif est réduit au comptoir, le temps d'attente, avant la pose des étiquettes, reste inchangé.

5.3 Scénario 3 : Modification des arrivées de clients

Des périodes de pointe ont été observées lors de l'analyse du processus de sécurité au chapitre 4. L'intégration du processus de sécurité a entraîné une augmentation du temps moyen du processus des marchandises de plus d'une heure. Pour le scénario 3, les arrivées des clients ont été retardées en intégrant deux délais. Le premier délai est représenté par une loi uniforme dont la valeur minimum est de 20 min et la valeur maximum de 30 min. En plus de ce délai, 50 % des clients ont été retardés d'un second délai. Ce dernier est représenté par une loi uniforme dont la valeur minimum est de 60 min et la valeur maximum est de 120 min. L'objectif de ce mécanisme est d'éviter la translation des périodes de pointes dans le temps.

5.3.1 Analyse des temps d'opération des marchandises (scénario 3)

Le but principal de cette analyse est d'évaluer les améliorations dans les temps de processus pour le scénario 3. Les résultats obtenus pour les marchandises expédiées par les clients accrédités sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 5.21 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients accrédités (scénario 3)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-32,6	65	15,0	33	62,6	2	80,0
Réception	5,0	0	-76,0	72	34,2	25	144,5	3	339,0
Délai 1	0,0	0	-90,4	62	42,8	38	175,9	0	157,0
Consolidation	2,0	0	-7,5	80	4,5	18	16,5	2	35,0
Délai 2	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0
Courrier	21,0	0	12,3	53	29,5	45	46,7	2	74,0
	30,0		-193,3		126,9		447,2		686,0

Observation : La durée moyenne du processus des marchandises expédiées par les clients Priorité 1 est très élevée. Il est intéressant de remarquer que le temps d'attente des marchandises avant la consolidation est supérieur à celui obtenu au chapitre quatre. Ceci peut s'expliquer par le fait que les clients se présentent plus tôt à l'entrepôt dans ce scénario.

Tableau 5.22 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients accrédités (scénario 3)

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	84	0,0	0	-25,9	64	28,3	32	82,5	4	150,0
En retard	16	-295,0	2	-218,3	33	-51,6	65	115,2	0	-1,0

Observation : La proportion de marchandises disponibles à l'aéroport avant le départ du vol est de 84 %. Cette nette amélioration se justifie par le fait que les clients se présentent plus tôt à l'entrepôt.

Tableau 5.23 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients accrédités (scénario 3)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-27,5	64	14,8	34	57,1	2	101,0
Réception	5,0	0	-64,8	65	43,7	33	152,2	2	301,0
Délai 1	0,0	0	-125,5	60	55,9	39	237,3	1	400,0
Consolidation	1,0	0	-63,3	66	24,0	32	111,4	2	219,0
Délai 2	0,0	0	-54,2	53	57,3	47	168,9	0	218,0
Courrier	17,0	0	-47,0	80	36,4	18	119,8	3	401,0
	24,0		-382,3		232,2		846,6		1640,0

Observation : La durée moyenne du processus des marchandises Standard est inférieure à 240 minutes (délai minimum requis pour la remise des marchandises Standard). Le temps d'attente des marchandises avant la consolidation a augmenté comparativement à celui obtenu pour le processus de sécurité présenté au quatrième chapitre (10,3 min). En réduisant ce délai, il est possible d'améliorer le temps moyen de processus des marchandises Standard.

Tableau 5.24 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Standard pour les clients accrédités (scénario 3)

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	94	0,0	0	-55,0	56	95,5	43	245,9	2	468,0
En retard	6	-396,0	2	-356,0	35	-86,4	63	183,3	0	-1,0

Observation : Ce scénario permet d'obtenir une proportion de marchandises disponibles avant le départ du vol meilleure que celle obtenue avant la mise en place du processus de sécurité.

Conclusion : La modification de l'arrivée des clients a un impact important sur la performance de l'entrepôt. Cependant, l'augmentation du temps d'attente avant l'opération de consolidation permet d'avancer qu'il est possible de faire venir les clients accrédités environ 40 min plus tôt.

Les résultats obtenus pour les marchandises expédiées par les clients non accrédités sont présentés dans les prochains tableaux.

Tableau 5.25 : Temps d'opération des marchandises Priorité 1 des clients non accrédités (scénario 3)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-33,5	68	15,0	31	63,6	2	90,0
Rayons X	5,0	0	3,6	62	6,3	38	9,1	0	10,0
Réception	2,0	0	-100,7	70	36,9	27	174,6	3	370,0
Délai 1	0,0	0	-86,5	59	40,0	41	166,6	0	144,0
Consolidation	2,0	0	-5,2	82	4,1	14	13,5	4	23,0
Délai 2	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0
Courrier	21,0	0	12,5	54	29,2	44	45,9	2	60,0
	32,0		-208,8		132,7		474,2		698,0

Observation : La différence par rapport au temps moyen obtenu au tableau 5.21 est de 6 min. Celle-ci correspond à la durée de l'opération de vérification aux rayons X.

Tableau 5.26 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Priorité 1 pour les clients non accrédités (scénario 3)

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	79	0,0	0	-32,3	66	29,1	31	90,5	3	154,0
En retard	21	-324,0	2	-300,2	32	-73,8	66	152,6	0	-1,0

Observation : La proportion de marchandises en retard est inférieure à celle obtenue au tableau 5.22.

Tableau 5.27 : Temps d'opération des marchandises Standard des clients non accrédités (scénario 3)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	1,0	0	-27,2	64	14,8	35	56,8	2	103,0
Rayons X	5,0	0	3,2	59	6,4	39	9,6	2	14,0
Réception	3,0	0	-66,9	65	43,5	33	153,9	2	346,0
Délai 1	0,0	0	-123,0	61	52,4	38	227,9	1	378,0
Consolidation	1,0	0	-65,5	66	24,0	32	113,6	2	245,0
Délai 2	0,0	0	-54,4	53	57,1	47	168,7	0	224,0
Courrier	17,0	0	-44,8	80	36,3	17	117,4	3	347,0
	27,0		-378,7		234,7		848,0		1657,0

Observation : Pour ce scénario, le temps moyen de processus reste pratiquement inchangé pour les deux types de clients.

Tableau 5.28 : Délais de disponibilité à l'aéroport des marchandises Standard pour les clients non accrédités (scénario 3)

	%	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
À l'heure	94	0,0	0	-51,3	57	95,5	41	242,3	2	502,0
En retard	6	-353,0	0	-338,1	41	-68,4	59	128,9	0	-1,0

Observation : Pour ce scénario, la proportion de marchandises Standard disponibles avant le départ des vols est la même pour tous les clients.

Conclusion : La modification des arrivées des clients permet d'améliorer considérablement les temps de processus pour tous les clients et tous les services.

5.3.2 Analyse des temps d'interaction avec les clients (scénario 3)

Les résultats obtenus pour les clients sont présentés dans les tableaux qui suivent.

Tableau 5.29 : Temps d'opération des clients Priorité 1 (scénario 3)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	2,0	0	-36,9	67	17,4	31	71,7	2	119,0
Délai 3	0,0	0	-9,0	60	4,3	39	17,6	1	25,0
Comptoir	6,0	0	-1,6	59	10,8	40	23,2	1	33,0
	8,0		-47,6		32,4		112,4		177,0

Observation : La modification du temps d'arrivée des clients n'a pratiquement pas d'impact sur le temps d'interaction avec les clients Priorité 1.

Tableau 5.30 : Temps d'opération des clients Standard (scénario 3)

	Minimum (min)	Quantité (%)	Borne inférieure	Quantité (%)	Moyenne (min)	Quantité (%)	Borne supérieure	Quantité (%)	Maximum (min)
Triage	2,0	0	-30,1	65	17,2	34	64,4	1	128,0
Réception	0,0	0	-83,4	82	15,6	14	114,5	4	210,0
Délai 3	0,0	0	-28,3	66	7,9	31	44,1	3	113,0
Comptoir	6,0	0	-24,4	72	16,0	25	56,4	2	123,0
	8,0		-166,2		56,6		279,4		574,0

Observation : Il est possible d'observer une réduction de 24,8 min du temps moyen d'interaction avec les clients Standard. Cette diminution est liée à la réduction du temps effectué par le client à la réception.

Conclusion : Les améliorations constatées pour les clients Standard sont plus intéressantes. En modifiant l'heure d'arrivée des clients, il a été possible de réduire d'environ 15 min le temps d'attente des clients Standard à la réception.

5.3.3 Conclusion du scénario 3

De manière générale, le délai de disponibilité de toutes les marchandises a été amélioré. De meilleurs résultats sont obtenus pour les marchandises Standard. Au cours de l'analyse des résultats de ce scénario, il a été constaté que le délai d'attente des marchandises avant l'opération de consolidation a augmenté d'environ 30 min pour les marchandises Priorité 1 et de 40 min pour les marchandises Standard. De meilleurs résultats peuvent être obtenus en réduisant le retard supplémentaire considéré pour l'arrivée des clients. Il est intéressant de remarquer que le temps de retard des marchandises Priorité 1 est supérieur à 50 min. De plus, la proportion de marchandises Priorité 1 disponible avant le départ est inférieure à 80 %. Pour améliorer ces deux résultats les arrivées des clients pourraient être modifiées en tenant compte du service pour lequel ils se présentent à l'entrepôt.

5.4 Conclusion

Les deux premiers scénarios ne fournissent pas des résultats aussi intéressants que ceux obtenus au scénario 3. Bien que ce dernier permette de rendre disponible à l'aéroport une plus grande proportion de marchandises, il est de loin le plus simple à mettre en œuvre. En effet, la mise en place d'un tel scénario exige une bonne collaboration des clients. Le défi serait de déterminer l'argument commercial qui les amènerait à se présenter plus tôt à l'entrepôt. Sur la base des résultats obtenus pour le troisième scénario, l'accréditation délivrée par Transport Canada n'est pas un avantage qui garantit le départ des marchandises dans les délais.

CONCLUSION

Chacune des étapes effectuées pour la conception de l'outil l'a été dans le souci d'être le plus fidèle possible aux conclusions de l'analyse des données historiques. Pour ce faire, des décisions ont été prises et des hypothèses ont été émises. Tous ces choix (les lois de probabilités, l'agrégation des paramètres descriptifs des marchandises, l'assignation des ressources, les arrivées des clients; pour ne citer que ceux-là) ont sans aucun doute eu un impact sur les résultats obtenus lors de la simulation des scénarios. Par ailleurs, la fréquence d'arrivée des clients est déterminée à partir des données fournies sur les marchandises. Il est difficile de garantir que cette considération reflète entièrement le comportement des clients se présentant à l'entrepôt. Bien que certaines décisions soient discutables, l'objectif principal de l'outil est de comparer différents scénarios par rapport à une situation initiale (l'état de l'entrepôt d'Air Canada Cargo en 2011). La comparaison des scénarios est ainsi faite sur la même base de modélisation et il est possible de mesurer l'impact d'un changement effectué en observant la variation des indicateurs de performance. À cet égard, l'outil permet de répondre à cet objectif.

Par ailleurs, les résultats obtenus lors de la simulation de la situation initiale sont représentatifs de la réalité. À l'exportation, plus de 90% des marchandises sont expédiées à l'aéroport dans les délais par rapport à l'heure prévue de départ de l'avion. Les temps de processus des marchandises permettent de respecter les délais d'expédition pour les services offerts. Le même constat est établi suite à l'observation des résultats de la simulation à l'importation. Les modifications apportées pour la simulation du processus de sécurité portent uniquement sur les opérations à la réception des marchandises. La fréquence d'arrivée des clients ainsi que l'heure de départ des marchandises définies pour la simulation de la situation initiale ont été conservées pour ce nouveau scénario. Différents arguments peuvent amener à discuter cette décision pour la simulation du nouveau scénario. Deux nouvelles approches peuvent être considérées : la modification de l'heure d'arrivée des clients et la modification de l'heure de départ des marchandises. En effet l'ajout de nouvelles opérations à la réception (triage et inspection) a pour conséquence d'augmenter les temps de processus des marchandises. Tel que

constaté lors de l'analyse du troisième scénario, la proportion de marchandises disponibles avant le départ du vol a nettement augmenté en retardant (de 30 min à 120 min) l'arrivée des clients à l'entrepôt. Il est possible d'avancer que l'heure d'arrivée des clients à l'exportation a un impact sur les temps de processus des marchandises. Ainsi, les clients soucieux de voir leurs marchandises expédiées sur un vol donné peuvent se présenter plus tôt à l'entrepôt. D'autre part, pour cette étude l'heure de départ des marchandises est définie au début de la simulation dans la réalité. Cette information est confirmée au client au moment où il se présente au comptoir. Un autre vol peut être assigné au client si l'agent juge que les marchandises ne peuvent être disponibles à l'aéroport avant le départ du vol sur lequel elles ont été préalablement enregistrées. Ainsi, la nouvelle approche serait de concevoir le modèle de sorte que l'heure de départ soit assignée au comptoir en fonction de la disponibilité des vols.

Les premières analyses de scénario ont démontré que l'ajout de ressources au comptoir et à la réception permet d'améliorer la performance de l'entrepôt. Celles-ci amènent à déduire que la gestion actuelle des ressources est une cause possible des retards d'expédition des marchandises. Une meilleure affectation des agents peut contribuer à des améliorations non négligeables dans les temps de processus. À ce sujet, Rong et Grunow [9] ont mis en place un outil de simulation de planification de la main-d'œuvre pour un terminal de cargo. La simulation s'effectue à partir d'un modèle de programmation linéaire en nombres entiers. Ce modèle mathématique a pour but de fournir un horaire de travail adapté à la demande tout en minimisant les coûts de main-d'œuvre. Leur programme peut résoudre simultanément les problèmes de détermination du nombre de ressources et d'affectation des horaires. Cette méthode peut être utilisée pour déterminer une meilleure assignation des employés de l'entrepôt montréalais d'Air Canada Cargo.

RÉFÉRENCES

- [1] Council of Supply Chain Management Professionals. Supply Chain Management Definitions. Consulté le 22 Octobre 2012. Tiré de <http://cscmp.org>.
- [2] G. Cross, C. McGhee, J. Levis, D. Whitney (1998). Towards increasing use of simulation in transportation. Proceedings of the 1998 winter simulation conference (pp. 1169-1175). Indiana, USA.
- [3] T. B. Brito, R. C. Botter (2011). A conceptual comparison between discrete and continuous simulation to motivate the hybrid simulation methodology. Proceedings of the 2011 winter simulation conference (pp. 3915-3927). Sao Paulo, Brazil.
- [4] Borshchev, A., and A. Filippov (2004). From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling : Reasons, Techniques, Tool. Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society. Oxford, England.
- [5] Q.Cao, B. S. Good, L.A. DeRose (2011). RFID for air cargo operations; returns on investment analysis through process modeling and simulation. Proceedings of the 2011 winter simulation conference (pp. 1571-1582). New York, USA.
- [6] L. F. Vismari, J. B. Camargo Jr (2005). Evaluation of the impact of new technologies on aeronautical safety : an approach through modelling, simulation and comparison with legacy systems. Journal of the brazilian air transportation research society (Vol. 1, pp.20-32). Sao Paulo, Brazil.

- [7] C. Lee, H. Huang, B. Liu, Z. Xu (2006). Development of timed Colour Petri net simulation models for air cargo terminal operations. *Computers & Industrial Engineering* (Vol 51, pp. 102-110). Seoul and Singapour.
- [8] K.L. Choy, H.K.H. Chow, T.C. Poon & G.T.S. Ho (2012). Cross-dock job assignment problem in spaceconstrained industrial logistics distribution hubs with a single docking zone. *International Journal of Production Research* (Vol. 50, No. 9, pp.2439-2450). Hong-Kong, China.
- [9] A.Rong, M. Grunow (2008). Manpower planning at air cargo terminal. *Proceeding of the 9th Asia Pacific industrial engineering & management systems conference* (Vol. 5, pp.666-677). Copenhagen, Danemark.

ANNEXE 1 : MÉTHODOLOGIE DE TRAITEMENT DES DONNÉES

DONNÉES HISTORIQUES

Les données initialement fournies par la compagnie ne sont pas présentées dans un format adéquat pour la simulation. Une procédure de préparation des données est suivie dans le but de construire une base de données fiable tout en respectant l'intégrité des données. Chaque ligne de la base de données correspond à une marchandise.

Description des données fournies

- Période : 12 mois (du 01 juillet 2010 au 30 juin 2011)
- Informations générales supportées par la base de données : unité de chargement, origine, destination, service, solution, type de clients.
- Temps d'opération collectés à partir du système d'information pour chaque marchandise à l'exportation (heure et date) : départ du vol de Montréal (*FlightDepartureTime*).
- Temps d'opération collectés à partir du système d'information pour chaque marchandise à l'importation (heure et date) : arrivée du vol (*ArrivalTime*), disponibilité de la marchandise (*Chek in*), livraison de la marchandise au client (*Delivery*).

Procédure de préparation des données à l'importation

La base de données reçue contient 74 157 lignes. Chaque ligne correspond à une seule marchandise.

- Filtre 1 : Ce filtre sert à identifier les marchandises à l'extérieur de la période d'analyse. Parmi les 74 157 données reçues, 200 d'entre elles ne correspondent pas à la période d'analyse.

- Filtre 2 : Ce filtre sert à identifier les marchandises dont l'heure de départ est manquante. Toutes les marchandises obtenues après l'application du filtre 1 ont une date de départ qui leur est assignée. Ainsi, la base de données exploitable pour l'exportation est composée de 73 957 marchandises.

Procédure de préparation des données à l'importation

Une première observation des données a révélé que l'enregistrement de certaines marchandises est effectué après leur livraison. Suite aux discussions avec le responsable des bases de données, il est ressorti que l'agent responsable de l'enregistrement accumule du travail pour les périodes moins occupées. Ce temps n'étant pas représentatif de l'heure réelle de la mise à disposition de la marchandise, il ne sera pas pris en compte. La base de données reçue contient 99 301 lignes. Chaque ligne correspond à une marchandise.

- Filtre 1 : Ce filtre sert à identifier les marchandises à l'extérieur de la période d'analyse.

Suite à l'application du filtre, 289 marchandises ont une date d'arrivée à l'extérieur de la période d'analyse. Ceci peut être justifié par le fait que les numéros AWB (numéro unique pour identifier une marchandise) sont réutilisés par le système après un certain temps. La base de données exploitable pour l'importation est composée de 99 012 marchandises.

DONNÉES SUR LES TEMPS D'OPÉRATION

Les données sur les temps d'opérations sont obtenues à partir des observations faites sur le terrain.

Estimation des temps d'opération à l'exportation

Les visites effectuées à l'entrepôt ont servi à la collecte de données sur la durée des opérations suivantes : comptoir, réception, consolidation, « Breezeway » et courrier.

- Comptoir : Les mesures prises au comptoir sont présentées dans le prochain tableau.

Tableau A.1 : Récapitulatif des observations au comptoir

	Nombre d'observations	Loi de probabilité (min)
Avec réservation	22	GAMM(6.24, 0.586)
Sans réservation	2	UNIF(6,10)

La plupart des clients se présentant au comptoir ont effectué au préalable une réservation d'expédition via internet. Lorsque le nombre d'observation n'est pas suffisant, la loi de probabilité est définie sur la base d'estimations.

- Réception : Les mesures prises à la réception sont présentées dans le prochain tableau.

Tableau A.2: Récapitulatif des observations à la réception

	Nombre d'observations	Loi de probabilité (min)
Décharger la marchandise (client)	4	$0.36 + 1.03 * \text{BETA}(1.94, 1.67)$
Peser, mesurer, vérifier les documents de transport	12	$0.07 + \text{LOGN}(0.52, 0.45)$
Déplacer vers la zone d'exportation	7	$0.54 + 0.91 * \text{BETA}(0.672, 0.623)$
Apposer les étiquettes	6	$0.37 + 0.56 * \text{BETA}(0.598, 0.83)$

- Consolidation 1 : Les mesures prises à la consolidation des grosses marchandises sont présentées dans le prochain tableau.

Tableau A.3: Récapitulatif des observations à la consolidation des grosses marchandises

	Nombre d'observations	Loi de probabilité Conteneur (min)	Loi de probabilité Plate forme (min)
Installer l'unité sur le convoyeur	4	UNIF(0.60,3.5)	UNIF(0.60,3.5)
Démêler le filet	1	0	UNIF(7,13)
Inscrire le PLA et la carte ULD	5	UNIF(1,5)	UNIF(1,5)
Placer les marchandises	23	UNIF(0.42, 1.91)	UNIF(0.42, 1.91)
Déplacer sur le convoyeur pour la pesée	3	UNIF(0.35, 0.85)	UNIF(0.35, 0.85)
Récupérer et installer les harnais	2	UNIF(3, 4)	UNIF(3, 4)
Installer le plastique et le filet	6	0	$9 * \text{BETA}(0.664, 0.587)$
Accrocher le PLA et carte ULD	2	UNIF(0.5, 1)	UNIF(0.5, 1)
Déplacer vers breezeway	2	UNIF(1, 2)	UNIF(1, 2)

- Consolidation 2 : Les mesures prises à la consolidation des petites marchandises sont présentées dans le prochain tableau.

Tableau A.4 : Récapitulatif des observations à la consolidation des petites marchandises

	Nombre d'observations	Loi de probabilité (min)
Installer les marchandises dans l'unité de chargement	25	EXPO(0.972)
Inscrire les informations	7	$0.6 + 0.71 * \text{BETA}(0.613, 0.686)$
Dépâler et peser le conteneur	4	$0.51 + 1.83 * \text{BETA}(0.62, 0.631)$

- « Breezeway » : Les mesures prises au « Breezeway » sont présentées dans le prochain tableau.

Tableau A.5 : Récapitulatif des observations au « Breezeway »

	Nombre d'observations	Loi de probabilité (min)
Récupérer la liste de conteneurs	1	UNIF(2,3)
Déplacer le conteneur sur le transporteur à rouleaux	17	LOGN(0.934, 0.77)
Installer le conteneur sur le chariot	12	$0.19 + 0.69 * \text{BETA}(1.36, 1.44)$
Sortir le chariot	4	UNIF(1,2)
Ramener un autre chariot	7	TRIA(1,3,5)

- Courrier : Le temps de déplacement des marchandises vers l'aéroport a été estimé à l'aide d'une loi uniforme (UNIF (15,20)). Cette estimation est la même à l'importation.

Estimation des temps d'opération à l'importation

Les visites effectuées à l'entrepôt ont servi à la collecte de données sur la durée des opérations suivantes : déconstruction et comptoir

- « Grosses déconstruction » : Les mesures prises à l'observation des « grosses déconstructions » sont présentées dans le prochain tableau.

Tableau A.6: Récapitulatif des observations des « grosses déconstruction »

	Nombre d'observations	Loi de probabilité
Déplacer sur le convoyeur	7	UNIF(1, 2)
Inscrire le numéro AWB sur le LTA	8	$0.27 + \text{LOGN}(1.33, 1.29)$
Déplacer vers le palettier	15	$0.7 + 1.51 * \text{BETA}(1.14, 0.673)$
Déplacer vers la zone d'entreposage au sol	27	$0.36 + \text{LOGN}(0.674, 0.363)$
Déplacer la plate forme et le filet vers la zone d'expédition	5	$0.85 + 1.44 * \text{BETA}(1.19, 1.69)$

- Comptoir : Les mesures prises à l'observation au comptoir sont présentées dans le prochain tableau.

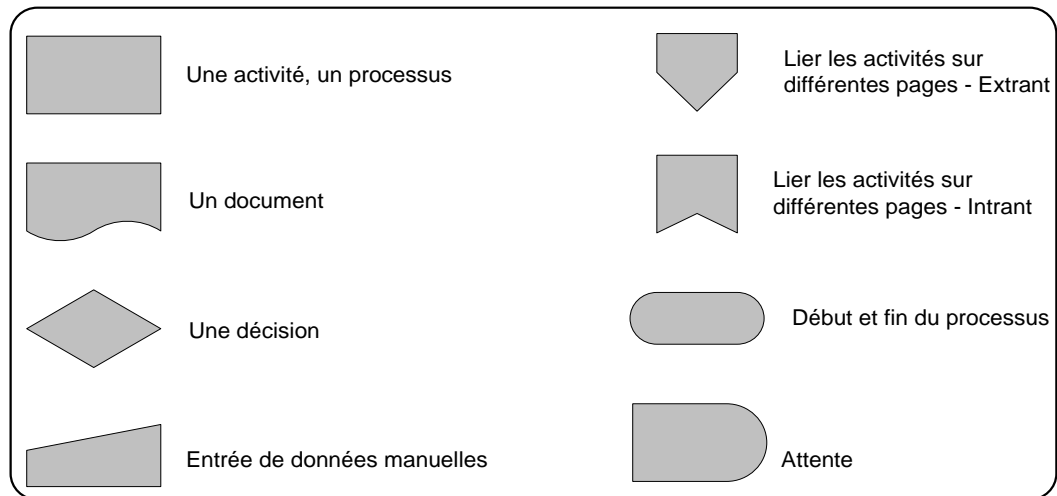
Tableau A.7 : Récapitulatif des observations au comptoir

	Nombre d'observations	Loi de probabilité
Avec le numéro AWB	19	UNIF(5, 7)
Sans le numéro AWB	2	UNIF(5, 7)

ANNEXE 2 : PROCESSUS D'AFFAIRES À L'EXPORTATION

PROJET CARGO AIR CANADA *PROCESSUS D'AFFAIRES - EXPORTATION*

LÉGENDE



Titre : *Processus d'affaires de Cargo Air Canada à l'exportation*

Réalisé par : Yessiratou-Lai Damala

Version : 11 Août 2011

Figure B.1 : Processus d'affaires à l'exportation

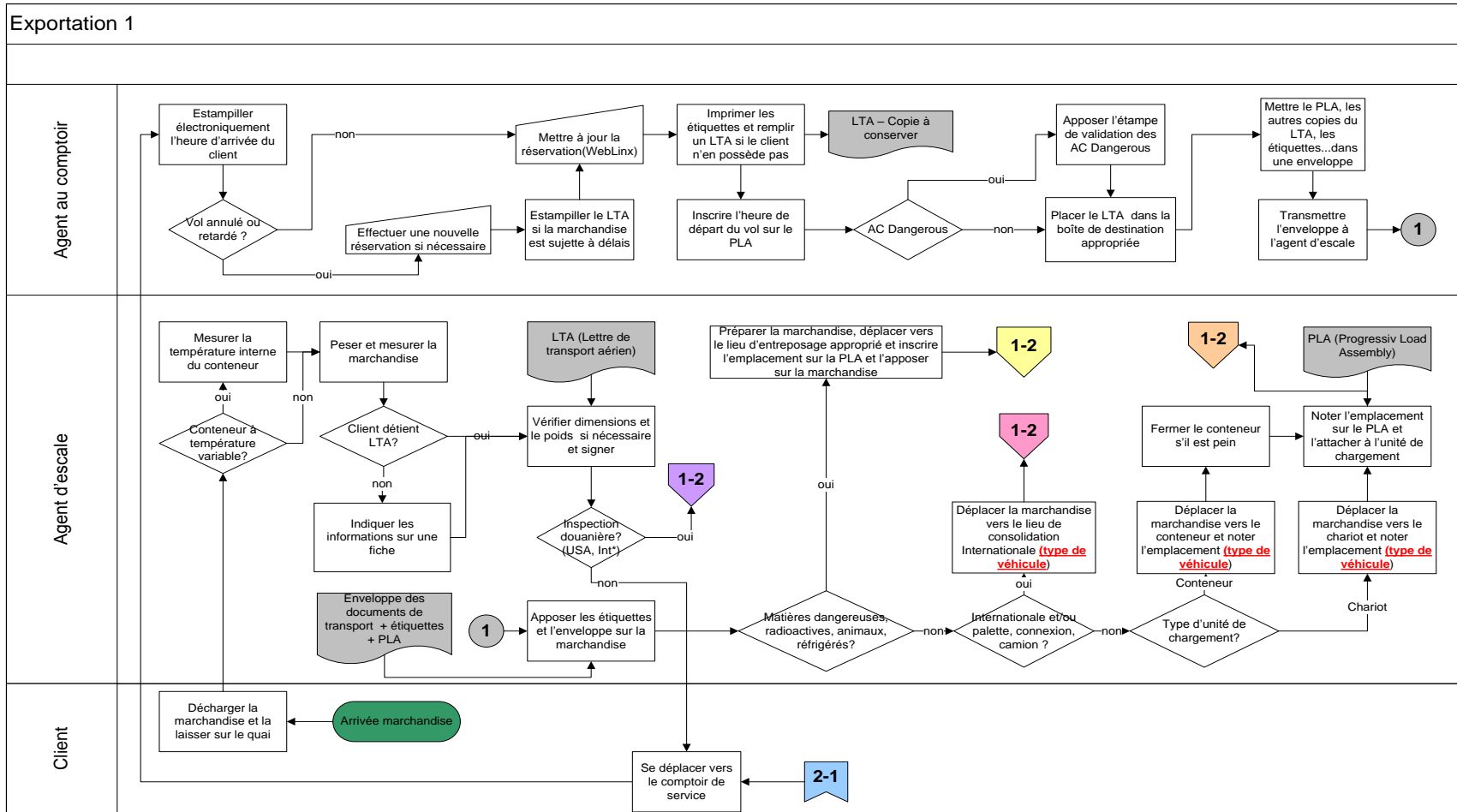


Figure B.2 : Processus d'affaires à l'exportation (suite)

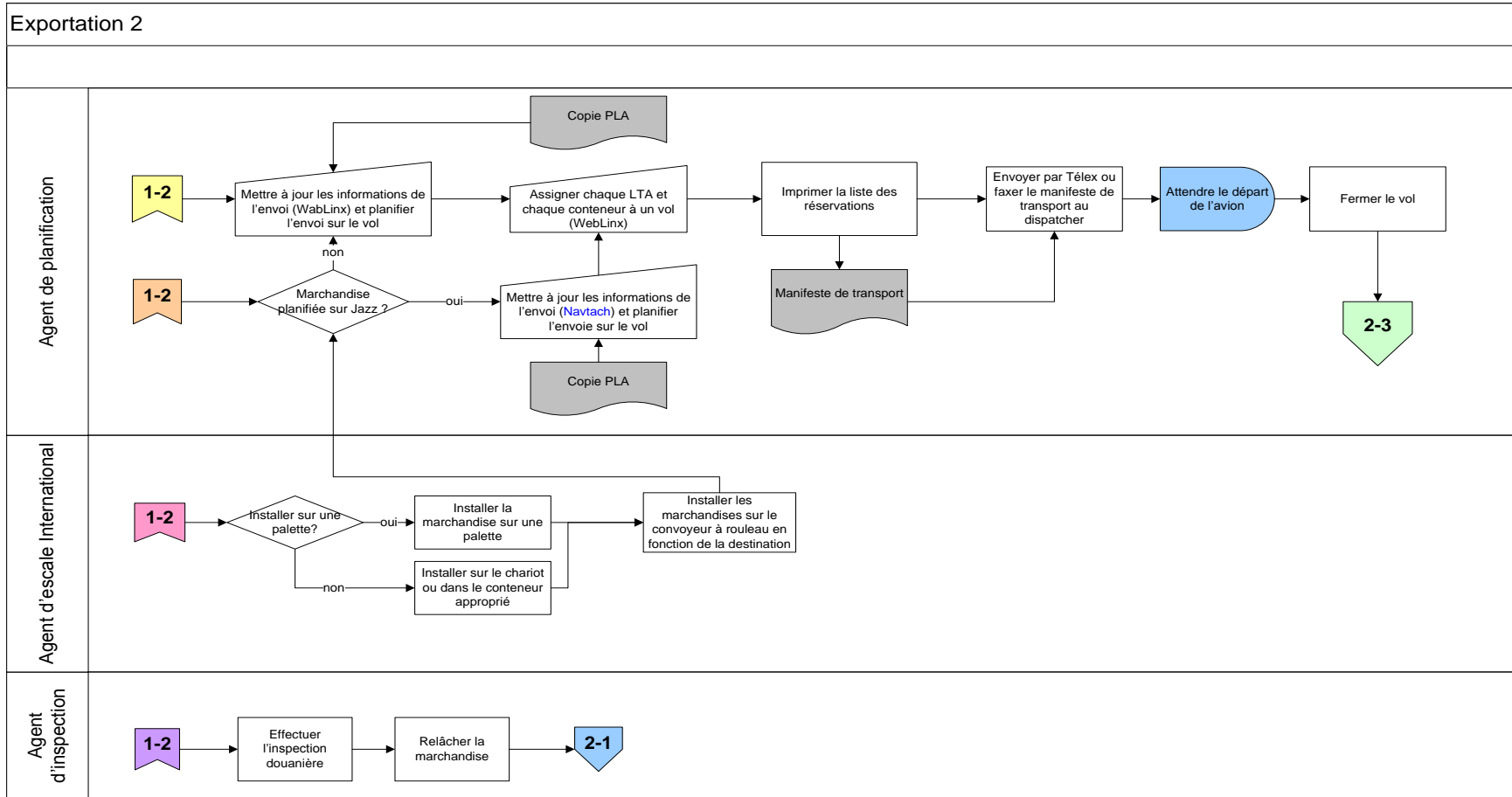


Figure B.3 : Processus d'affaires à l'exportation (suite)

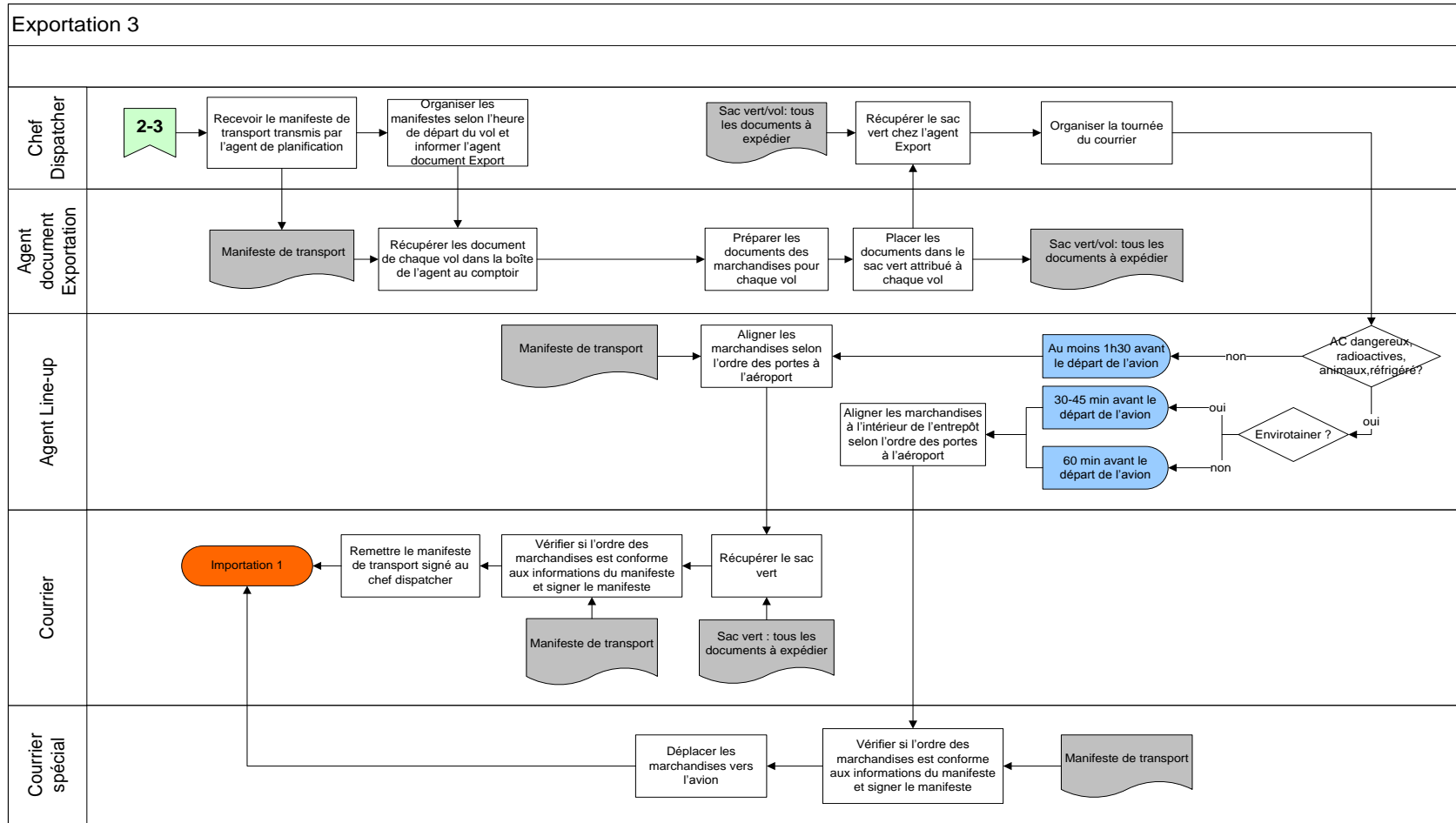
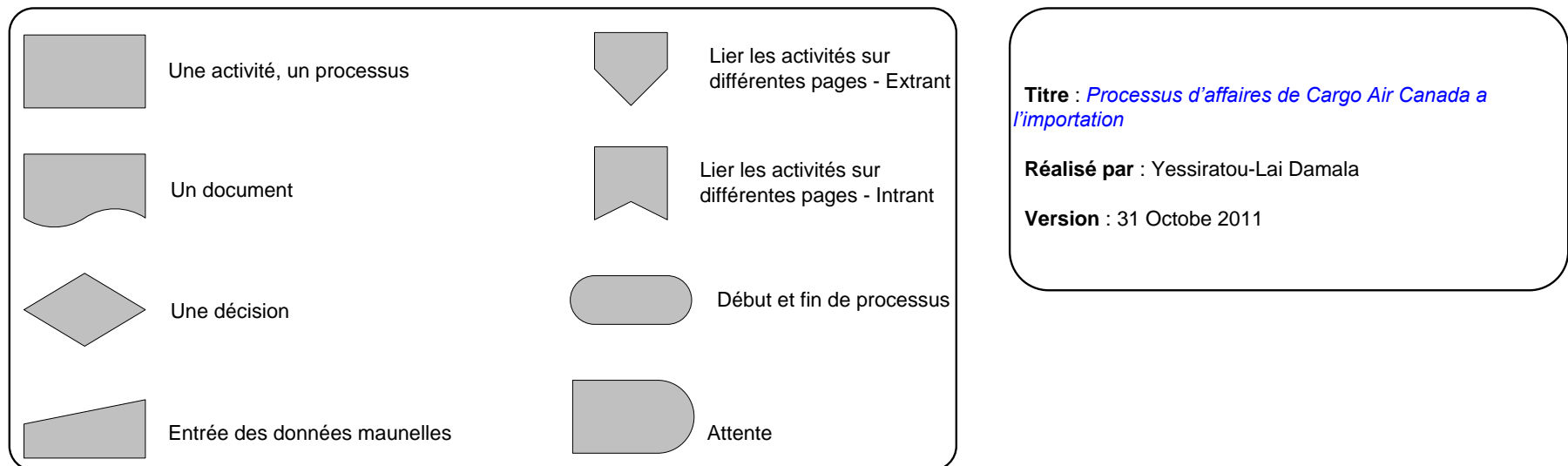


Figure B.4 : Processus d'affaires à l'exportation (suite)

ANNEXE 3 : PROCESSUS D'AFFAIRES À L'IMPORTATION

PROJET CARGO AIR CANADA *PROCESSUS D'AFFAIRES-IMPORTATION*

LÉGENDE



:

Figure C.1 : Processus d'affaires à l'importation

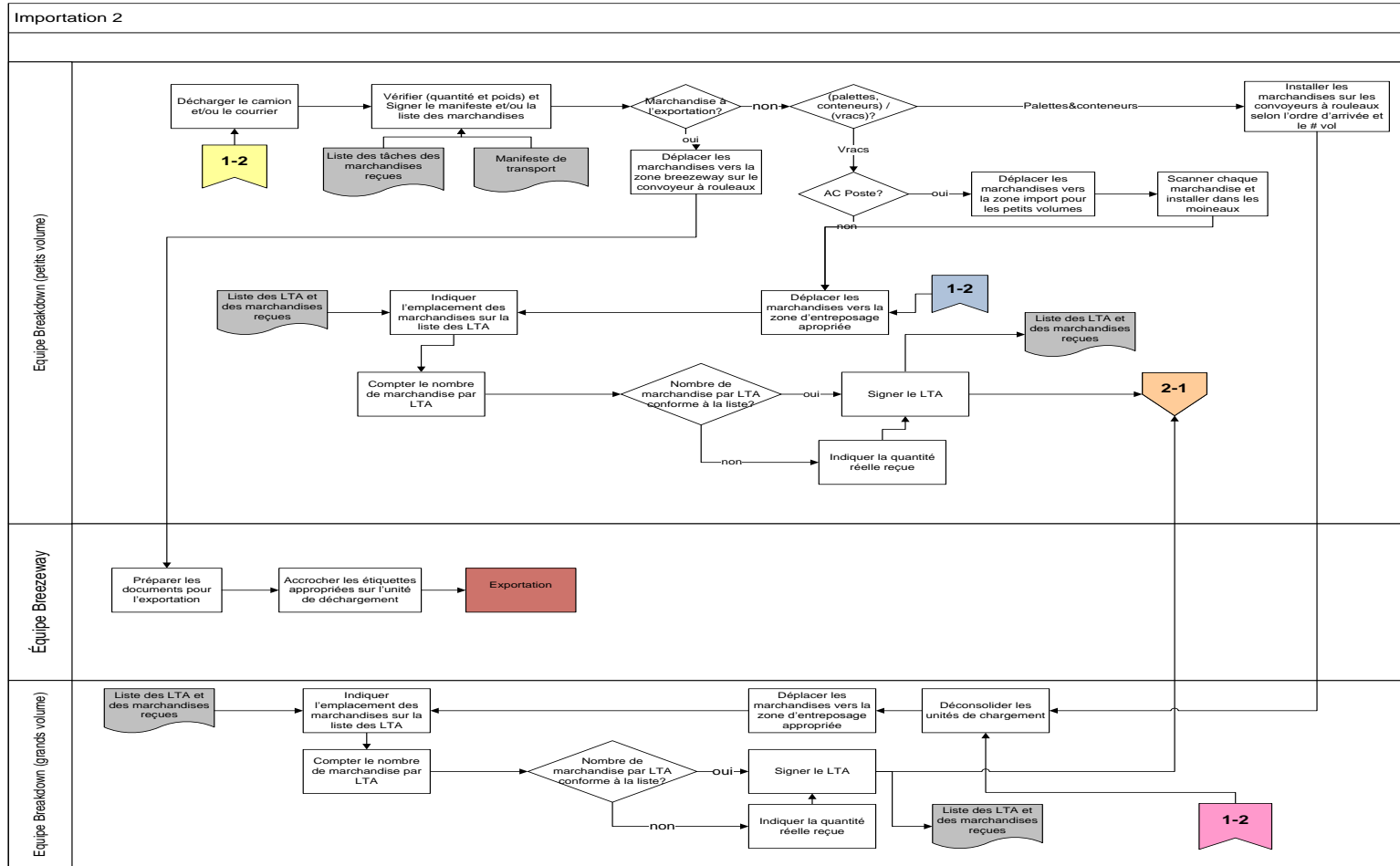


Figure C.3 : Processus d'affaires à l'importation (suite)

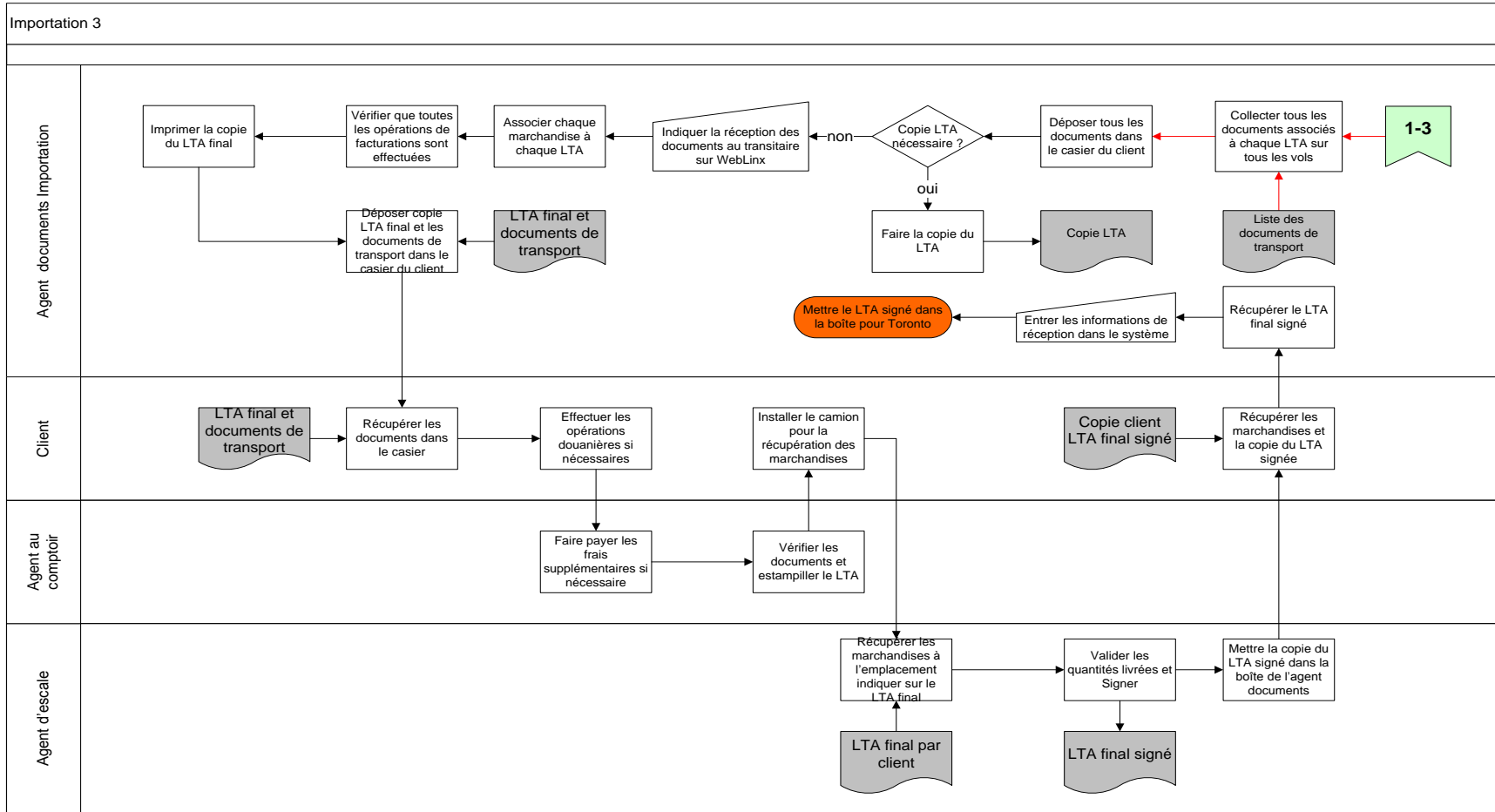


Figure C.4 : Processus d'affaires à l'importation (suite)

ANNEXE 4 : RÉPARTITION DES SOLUTIONS PAR MOIS À L'EXPORTATION EN %

Mois	AC° Absolu	AC Compassion - Cendres	AC Compassion - Dépouilles mortelles	AC Frigo	AC DGR	AC Expédair	AC Fraicheur	AC Général Cargo	AC Vivant - Animaux	AC Vivant - Aquatiques/ Insectes	AC Vivant - Chiens/ Chats	AC Pharmacaïr	AC Sûreté
1			0,2		8,1	9,2	3,5	73,1	2,7	0,9	1,2	1,0	0,1
2	0,2		0,1		7,8	8,9	3,5	73,3	2,4	0,7	1,0	1,7	0,1
3			0,2		7,1	8,8	3,6	74,3	2,7	0,7	1,1	1,3	0,1
4	0,1		0,1		8,0	9,1	4,0	72,3	2,9	0,6	1,7	1,0	0,2
5	0,1		0,3		8,2	10,2	3,8	70,5	3,6	0,8	1,4	1,0	0,2
6	0,1	0,1	0,2		6,4	10,7	5,5	69,6	3,7	0,8	1,7	1,0	0,2
7		0,1	0,3		8,2	9,6	4,8	71,1	3,0	0,7	2,0		0,2
8			0,3	0,1	6,4	10,6	2,9	73,4	3,2	0,5	2,3		0,3
9			0,2		7,3	10,2	2,9	73,5	3,4	0,4	1,6	0,1	0,3
10			0,3	0,1	7,7	9,5	2,7	74,5	3,1	0,5	1,2	0,1	0,2
11	0,1	0,1	0,1		6,3	9,5	3,0	74,4	2,8	0,4	1,4	1,9	0,2
12	0,1		0,3		8,1	8,9	3,9	73,7	2,2	0,6	1,2	1,0	0,1

Tableau D.1 : Répartition des solutions par mois à l'exportation en %

ANNEXE 5 : RÉPARTITION DES SOLUTIONS PAR TYPES D'AVION À L'EXPORTATION EN %

Types d'avion	AC° Absolu	AC Compassion - Cendres	AC Compassion - Dépouilles mortelles	AC DGR	AC Expédair	AC Fraîcheur	AC Général Cargo	AC Vivant - Animaux	AC Vivant - Aquatiques/ Insectes	AC Vivant - Chiens/ Chats	AC Pharmacair	AC Sûreté
319			0,1	11,0	15,4	3,2	64,2	3,3	0,4	1,9	0,3	0,1
320			0,2	8,3	16,5	2,5	65,8	3,8	0,9	1,5	0,3	0,2
321		0,1		11,8	7,1	4,6	63,7	8,6	0,8	3,0	0,3	
333		0,1		3,2		0,8	94,2	0,2			1,4	0,1
763	0,1		0,2	8,5	2,3	3,9	79,6	0,9	0,2	0,4	3,4	0,4
77W	0,1			3,8		9,8	85,3	0,6			0,3	
CODE_SHARE		0,1	0,8	7,0	20,4	2,1	59,7	4,3	1,4	3,9	0,2	0,1
E75			0,2	9,0	14,3	2,4	63,0	6,1	1,7	2,3	0,3	0,7
E90			0,1	7,7	18,9	3,2	57,6	7,8	1,3	3,1	0,1	0,1

Tableau E.1 : Répartition des solutions par types d'avion à l'exportation en %

ANNEXE 6 : RÉPARTITION DES SOLUTIONS PAR MOIS À L'IMPORTATION EN %

Mois	AC° Absolu	AC Compassion - Cendres	AC Compassion - Dépouilles mortelles	AC Frigo	AC DGR	AC Expédair	AC Fraîcheur	AC Général Cargo	AC Vivant - Animaux	AC Vivant - Aquatiques/ Insectes	AC Vivant - Chiens /Chats	AC Pharmacie	AC Sûreté
1			0,3		3,4	6,9	5,2	80,9	0,7	0,7	0,7	1,1	0,2
2	0,2		0,2		4,4	6,2	4,5	81,0	0,8	0,6	0,6	1,4	0,3
3			0,2		3,3	6,0	4,6	82,3	0,7	0,6	0,6	1,3	0,3
4			0,1		3,2	6,9	5,7	80,6	1,0	0,7	0,8	0,8	0,2
5	0,1	0,1	0,2		3,3	8,0	6,4	78,3	0,8	0,7	1,0	0,7	0,4
6	0,1	0,1	0,2		3,3	7,8	7,1	77,3	1,2	0,7	1,1	0,7	0,5
7			0,2	0,3	3,4	6,2	4,9	81,9	0,9	0,4	1,2	0,2	0,4
8			0,2		3,2	5,9	4,2	82,7	0,7	0,5	1,6	0,6	0,4
9			0,2		4,0	6,2	4,2	82,6	0,9	0,5	0,8	0,2	0,4
10			0,1		3,4	5,4	4,3	84,3	0,7	0,4	0,6	0,3	0,4
11			0,1		3,2	6,5	5,6	81,2	0,8	0,6	0,8	0,8	0,3
12	0,1		0,3		3,4	6,7	6,2	80,2	0,8	0,5	0,8	0,7	0,3

Tableau F.1 : Répartition des solutions par mois à l'importation en %

ANNEXE 7 : RÉPARTITION DES SOLUTIONS PAR TYPES D'AVION À L'IMPORTATION EN %

Types d'avion	AC° Absolu	AC Compassion - Cendres	AC Compassion - Dépouilles mortelles	AC Frigo	AC DGR	AC Expédair	AC Fraîcheur	AC Général Cargo	AC Vivant - Animaux	AC Vivant - Aquatiques/ Insectes	AC Vivant - Chiens/ Chats	AC Pharmacie	AC Poste	AC Sûreté
319			0,3		1,3	24,1	8,5	62,2	0,9	0,7	1,4	0,1	0,5	0,5
320		0,1	0,6		4,1	19,8	11,2	58,7	1,1	2,6	1,7		0,2	0,2
321			0,3		3,9	6,5	11,2	72,8	0,9	1,9	1,6	0,1	0,8	0,8
333					2,3		0,8	96,4	0,2		0,1			
763			0,1	0,2	3,9	2,4	4,9	84,7	0,5	0,3	0,2	2,5	0,3	0,3
77W	0,1				6,2		3,0	88,6	0,6			1,2	0,3	0,3
CODE_SHARE		0,2	0,5		1,8	11,4	10,1	65,3	3,6	0,8	5,2	0,2	0,9	0,9
E75			0,3		2,2	13,1	7,2	72,9	1,7	0,5	1,1	0,2	0,7	0,7
E90			0,3		6,2	13,7	2,2	71,8	0,8	1,0	3,5	0,1	0,4	0,4

Tableau G. 1 : Répartition des solutions par types d'avion à l'importation en %