



# **Analyse de la performance de cours à bois à l'aide de la simulation à événements discrets**

**Mémoire**

**Sébastien Vachon-Robichaud**

**Maîtrise en génie mécanique - avec mémoire**  
Maître ès sciences (M. Sc.)

Québec, Canada

# **Analyse de la performance de cours à bois à l'aide de la simulation à événements discrets**

**Mémoire**

**Sébastien Vachon Robichaud**

Sous la direction de :

Daniel Beaudoin, directeur de recherche  
Luc LeBel, codirecteur de recherche

# Résumé

Les cours à bois jouent un rôle essentiel dans le bon fonctionnement de la chaîne d’approvisionnement des produits forestiers. Ces dernières jouent un rôle de consolidation, de régularisation ainsi que de valorisation de la matière entre diverses étapes de transformation du bois. Depuis quelque temps, un nombre grandissant de gestionnaires de cours à bois cherchent à améliorer la performance opérationnelle de leurs cours à bois. Bien qu’une certaine quantité d’outils soient disponibles pour évaluer la performance des cours à bois, ces derniers sont très peu utilisés.

Ce mémoire décrit un projet de recherche dans lequel un de ces outils, la simulation à événements discrets, est utilisé conjointement avec une méthodologie de design de cours à bois pour résoudre des problématiques réelles d’un partenaire industriel. Le projet est divisé en deux études de cas concernant deux cours à bois d’une même scierie.

Le premier cas étudié porte sur la cour de bois rond, là où la matière première est stockée, et l’objectif est de comparer le plan d’aménagement actuel ainsi qu’un aménagement obtenu à l’aide de la méthodologie de design. Un modèle de simulation a été bâti avec le logiciel SIMIO pour effectuer ces comparaisons.

La seconde étude de cas porte sur la cour de bois scié et concerne la réévaluation des charges de travail de la flotte d’équipements de manutention. Un second modèle de simulation à événements discrets a été bâti sur SIMIO pour évaluer les charges de travail et redistribuer les tâches des chargeuses.

Les modèles de simulation développés ont démontré leur capacité à guider les gestionnaires vers des stratégies de gestion de leurs cours qui favorisent une meilleure utilisation des capacités disponibles. Par exemple, il a été possible de constater une réduction potentielle de l’ordre de 75% de la distance parcourue par certaines chargeuses grâce à ces modèles. Il a également été possible d’évaluer des rebalancements de charges de travail au niveau de la manutention et d’évaluer leur faisabilité avant d’appliquer le moindre changement sur les opérations réelles de la cour.

# Abstract

Wood yards play a critical role in the proper functioning of the forest products supply chain. They may play a role in consolidation, regularization or value-added processing of the material between the various stages of the production chain. For some time now, a growing number of sawmill yard managers are seeking to improve the operational performance of their wood yards. Although some tools are available for the assessment of wood yard performance, they are scarcely being used.

This master's thesis describes a research project in which one of these tools, discrete-event simulation (DES), is used in combination with a log yard design methodology in order to solve problems from a real sawmill owned by an industrial partner. The project is divided into two case studies of wood yards from the same mill.

The first case study focuses on the log yard, where the raw materials are stored, and the aim is to compare the current yard design with one obtained by using the suggested methodology. A simulation model was built using SIMIO to make these comparisons.

The second case study focuses on the lumber yard, where sawn timber is stored. The objective of this study is to re-evaluate workloads between loaders of the handling equipment fleet. A second simulation model was built on SIMIO to evaluate workloads and redistribute tasks among the available loaders.

The simulation models developed have demonstrated their ability to guide managers towards strategies for managing their log yards that promote better use of available capacities. For example, it was possible to see a potential reduction in the order of 75% in the distance traveled by some loaders with these models. It was also possible to assess workload rebalancing at the handling level and assess their feasibility before applying any changes to the actual operations of the yard.

# Table des matières

<b>Résumé</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iv</b>
<b>Table des matières</b>	<b>v</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>viii</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>x</b>
<b>Remerciements</b>	<b>xiv</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>xv</b>
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
Contexte . . . . .	1
Problématique . . . . .	1
Objectifs . . . . .	2
Revue de littérature . . . . .	4
Structure du mémoire . . . . .	7
<b>1 Description du cas d'étude</b>	<b>8</b>
1.1 Activités logistiques de la cour de bois rond . . . . .	9
1.2 Activités logistiques de la cour de bois scié . . . . .	12
<b>2 Méthode</b>	<b>15</b>
2.1 Données requises et collectées . . . . .	15
2.1.1 Particularités pour la cour de bois rond . . . . .	17
2.1.2 Particularités pour la cour de bois scié . . . . .	18
2.2 Modélisation des flux . . . . .	19
2.2.1 Particularités pour la cour de bois rond . . . . .	19
2.2.2 Particularités pour la cour de bois scié . . . . .	20
2.3 Priorisation des relations entre les flux . . . . .	20
2.4 Assignation des espaces requis pour chaque activité . . . . .	21
2.5 Construction des plans préliminaires . . . . .	22
2.5.1 Particularités pour la cour de bois rond . . . . .	22
2.5.2 Particularités pour la cour de bois scié . . . . .	23
2.6 Évaluation des plans préliminaires . . . . .	23
2.7 Conception et validation du modèle de simulation pour la cour de bois rond . . . . .	24

2.7.1	Entités . . . . .	24
2.7.2	Routage des entités . . . . .	26
2.7.3	Variables . . . . .	28
2.7.4	Ressources . . . . .	29
2.7.5	Tâches des chargeuses . . . . .	31
2.7.6	Horaires . . . . .	34
2.7.7	Conditions d'expérimentations . . . . .	34
2.8	Conception du modèle de simulation pour la cour de bois scié . . . . .	36
2.8.1	Entités . . . . .	36
2.8.2	Routage des entités . . . . .	37
2.8.3	Variables . . . . .	38
2.8.4	Ressources . . . . .	39
2.8.5	Horaires . . . . .	41
2.8.6	Modélisation des arrivées de produits dans la cour . . . . .	43
2.8.7	Modélisation du séchage . . . . .	44
2.8.8	Modélisation du rabotage . . . . .	48
2.8.9	Modélisation de l'expédition . . . . .	51
2.8.10	Conditions d'expérimentations . . . . .	52
<b>3</b>	<b>Nouveau plan d'aménagement amélioré de la cour de bois rond</b>	<b>54</b>
3.1	Résumé . . . . .	54
3.2	Discrete-Event Simulation to Evaluate Log Yard Design Planning . . . . .	56
3.2.1	Introduction . . . . .	56
3.2.2	Literature . . . . .	57
3.2.3	Methods . . . . .	58
	Data collection . . . . .	58
	Material Flow Model and Flow Relationships . . . . .	60
	Determination of area requirements . . . . .	62
	Development of preliminary plans . . . . .	63
	Evaluation through simulations . . . . .	67
3.2.4	Simulation model . . . . .	68
	Input data . . . . .	68
	Run conditions . . . . .	74
	Model verification and validation . . . . .	75
3.2.5	Simulation results . . . . .	79
3.2.6	Conclusions . . . . .	82
3.2.7	Literature cited . . . . .	82
<b>4</b>	<b>Réévaluation des charges de travail dans la cour de bois scié</b>	<b>85</b>
4.1	Rappel du besoin . . . . .	85
4.2	Collecte des données . . . . .	86
4.3	Modélisation des flux . . . . .	86
4.4	Critères de performance . . . . .	87
4.5	Modèle de simulation . . . . .	87
4.6	Vérification du modèle . . . . .	88
4.7	Résultats et discussions . . . . .	89
	4.7.1 Situation initiale . . . . .	90
	4.7.2 Transporter deux paquets par voyage . . . . .	91

4.7.3	Accumulation de produits à la sortie du planeur . . . . .	92
4.8	Conclusions et recommandations . . . . .	94
<b>Conclusion</b>		<b>96</b>
	Points et résultats clés . . . . .	96
	Recommandations pour la poursuite des travaux . . . . .	97
<b>A Article de conférence MOSIM 2014</b>		<b>98</b>
A.1	Résumé . . . . .	98
A.2	Log yard Design Using Discrete-Event Simulation . . . . .	98
<b>B Intrants du modèle de simulation de la cours de bois rond</b>		<b>109</b>
B.1	Durées de déchargement des camions . . . . .	109
B.2	Taux d'arrivées par heure moyens des camions . . . . .	110
B.2.1	Camions de cèdre . . . . .	110
B.2.2	Camions de sous-produits . . . . .	111
B.2.3	Camions de bois court (route publique) . . . . .	112
B.2.4	Camions de bois long (route publique) . . . . .	113
B.2.5	Camions de BILLOT8PI . . . . .	114
B.2.6	Camions de BILLOT9PI . . . . .	115
B.2.7	Camions de BILLOT10PI . . . . .	116
B.2.8	Camions de BILLOT89PI . . . . .	117
B.2.9	Camions de BTPATE . . . . .	118
B.2.10	Camions de bois long (route privée) . . . . .	119
B.2.11	Camions de bois court (route privée) . . . . .	120
<b>C Intrants du modèle de simulation de la cours de bois scié</b>		<b>121</b>
C.1	Expédition . . . . .	121
C.1.1	Chargement des camions . . . . .	121
C.2	Rabotage . . . . .	122
C.2.1	Relation entre les produits bruts et finis . . . . .	122
C.2.2	Recette du rabotage . . . . .	123
C.3	Sciage . . . . .	124
C.3.1	Recette du sciage . . . . .	124
C.4	Séchage . . . . .	125
C.4.1	Durées de séchage (été) . . . . .	125
C.4.2	Durées de séchage (hiver) . . . . .	126
C.4.3	Règles de chargement de séchoirs . . . . .	127
<b>Bibliographie</b>		<b>128</b>

# Liste des tableaux

1.1	Description des tâches principales de manutention à travers les cours à bois étudiés . . . . .	10
2.1	Notation utilisée dans la priorisation des relations entre les flux. . . . .	20
2.2	Liste des entités du modèle de simulation. . . . .	25
2.3	Descriptions générales des chargeuses de la cour de bois rond - vitesses et tâches. . . . .	30
2.4	Temps de chargement et déchargement et volumes moyens transportés des chargeuses en mode rapprochement (cour de bois rond). . . . .	30
2.5	Propriétés des activités de traitement de camions (cour de bois rond). . . . .	31
2.6	Propriétés du sciage et du tronçonnage. . . . .	31
2.7	Horaires de travail des différentes ressources du modèle (cour de bois rond). . . . .	35
2.8	Résumé des scénarios évalués (cour de bois rond). . . . .	35
2.9	Tâches des chargeuses frontales dans la cour de bois scié. . . . .	40
2.10	Horaire de disponibilité des ressources pour le modèle de simulation de la cour de bois scié. . . . .	42
2.11	Assignment des sources et des règles de chargement pour chaque séchoir. . . . .	45
2.12	Cycle de production pour l'usine de rabotage. . . . .	49
2.13	Plan d'expérience factoriel pour la cour de bois scié. . . . .	53
3.1	Flow Relationships in decreasing order of weight . . . . .	62
3.2	Storage capacity per raw material type. . . . .	63
3.3	Loader types and task assignments. . . . .	69
3.4	Average volume transported per truck type. . . . .	73
3.5	Random distributions expressing unloading times of logging trucks. . . . .	73
3.6	Loading/unloading times and average carried volume per trip. . . . .	74
3.7	Daily schedule for loaders and processes. . . . .	74
3.8	Consumption rates and reorder points for the mill and slashing station. . . . .	74
3.9	Loader speeds (loaded and unloaded). . . . .	75
3.10	Summary of evaluated scenarios. . . . .	75
3.11	Summary of model validation for measurements. . . . .	76
3.12	Summary of model validation for tests. . . . .	77
3.13	Summary of model validation for public road arrivals. . . . .	78
3.14	Summary of model validation for private road arrivals. . . . .	78
3.15	Total distances traveled per scenario and loader (km/week) - Avg (Min - Max). . . . .	79
3.16	Statistical differences of distance traveled between seasons for the Tanguay loaders. . . . .	80
3.17	Statistical differences of distance traveled between layout designs for the Tanguay loaders. . . . .	80



3.18	Loader utilization rates per scenario (%) - Avg (Min - Max). . . . .	81
4.1	Tâches connexes ajoutées au modèle suite à la validation . . . . .	89
4.2	Résultats des expérimentations de l'étude sur la cour de bois scié . . . . .	90
4.3	Résultats d'expériences pour la situation initiale (été) . . . . .	91
4.4	Résultats d'expériences pour la situation initiale (hiver) . . . . .	91
4.5	Résultats d'expériences pour le scénario "Accumulation planeur" (été) . . . . .	93
4.6	Résultats d'expériences pour le scénario "Accumulation planeur" (hiver) . . . . .	93
B.1	Expressions aléatoires de durées de déchargement des camions. . . . .	109
B.2	Taux d'arrivées moyen par heure pour les camions de cèdre. . . . .	110
B.3	Taux d'arrivées moyen par heure pour les camions de sous-produits de sciage. . . . .	111
B.4	Taux d'arrivées moyen par heure pour les camions de bois court (route publique). . . . .	112
B.5	Taux d'arrivées moyen par heure pour les camions de bois long (route publique). . . . .	113
B.6	Taux d'arrivées moyen par heure pour les camions de "Billet8pi". . . . .	114
B.7	Taux d'arrivées moyen par heure pour les camions de "Billet9pi". . . . .	115
B.8	Taux d'arrivées moyen par heure pour les camions de "Billet10pi". . . . .	116
B.9	Taux d'arrivées moyen par heure pour les camions de "Billet89pi". . . . .	117
B.10	Taux d'arrivées moyen par heure pour les camions de "BTPATE". . . . .	118
B.11	Taux d'arrivées moyen par heure pour les camions de bois long (route privée). . . . .	119
B.12	Taux d'arrivées moyen par heure pour les camions de bois court (route privée). . . . .	120
C.1	Échantillon du tableau de chargement de camions pour l'expédition. . . . .	121
C.2	Échantillon des liens entre les entités de produits bruts et finis. . . . .	122
C.3	Échantillon de la recette de rabotage (probabilités cumulatives). . . . .	123
C.4	Échantillon de la recette du sciage (génération des entités entrantes). . . . .	124
C.5	Expressions aléatoires de durées de séchage (été). . . . .	125
C.6	Expressions aléatoires de durées de séchage (hiver). . . . .	126
C.7	Échantillon (transposé) des quantités de paquets par produits par règle de chargement. . . . .	127

# Liste des figures

1.1	Activités logistiques au site de St-Pamphile. . . . .	8
1.2	Plan de la cour de bois rond. . . . .	9
1.3	Échantillon de mesurage et de tests. . . . .	11
1.4	Station fixe de tronçonnage. . . . .	12
1.5	Plan de la cour de bois scié. . . . .	13
1.6	Zones de chargement pour l'expédition et routage des camions. . . . .	14
2.1	Taux d'arrivées moyens de camions par jour de la semaine (cour de bois rond).	26
2.2	Taux d'arrivées moyens de camions par heure de la journée (cour de bois rond).	26
2.3	Diagramme de flux de processus pour le routage des camions arrivant dans la cour de bois rond. . . . .	27
2.4	Diagramme de flux de processus pour l'assignation d'une séquence aux entités provenant de la route publique. . . . .	28
2.5	Diagramme de flux de processus pour l'assignation d'une séquence aux entités provenant de la route privée. . . . .	28
2.6	Diagramme de flux de processus pour la chargeuse frontale (Volvo L150). . . . .	32
2.7	Diagramme de flux de processus pour les grues chargeuses (Tanguay LL228 et WL430). . . . .	33
2.8	Diagramme de flux de processus pour la chargeuse montée sur camion (Prentice 610). . . . .	34
2.9	Taux d'arrivées moyens de camions par jour de la semaine (cour de bois scié). . . . .	36
2.10	Fonctionnement du routage des camions d'expédition. . . . .	38
2.11	Fonctionnement de la génération des extrants du sciage. . . . .	44
2.12	Fonctionnement des séchoirs et des règles de chargement. . . . .	47
2.13	Détermination de la qualité des extrants du rabotage. . . . .	50
2.14	Fonctionnement du rabotage. . . . .	51
3.1	Material flow model. . . . .	61
3.2	Initial layout. . . . .	64
3.3	Methodology Layout - TL Stockpile close to Private Entrance and Slashing Station . . . . .	65
3.4	Methodology Layout - CTL stockpile close to Slashing and CTL sawmill entry	65
3.5	Methodology Layout - Measuring/Testing areas close to Scale and CTL Stockpiles	66
3.6	Methodology Layout - Final . . . . .	66
3.7	Flow comparison between initial layout (left) and methodology layout (right) for TL raw material category . . . . .	67
3.8	Flow diagram for delivery trucks. . . . .	68
3.9	Flow diagram for Tanguay loaders. . . . .	69

3.10	Flow diagram for the Volvo loader. . . . .	70
3.11	Flow diagram for the Prentice loader. . . . .	71
3.12	Average daily truck arrivals per day of the week. . . . .	72
3.13	Average hourly inter-arrival rates per hour of the day (Tuesday). . . . .	72
3.14	Initial layout simulation model - top-down view (left) and 3D view (right) . . .	76
3.15	Expected vs observed measurements (Peak). . . . .	77
3.16	Expected vs observed measurements (Low). . . . .	77
3.17	Expected vs observed tests (Peak). . . . .	77
3.18	Expected vs observed tests (Low). . . . .	77
3.19	Comparison of public road arrivals (Peak). . . . .	78
3.20	Comparison of public road arrivals (Low). . . . .	78
3.21	Comparison of private road arrivals (Peak). . . . .	79
4.1	Modélisation des flux (cour de bois scié). . . . .	87
4.2	Effet de transporter deux paquets par voyage sur le taux d'utilisation de la chargeuse allouée aux séchoirs. . . . .	92
4.3	Effet de l'accumulation à la sortie du planeur sur le taux moyen d'utilisation de la chargeuse allouée à son déchargement. . . . .	94

*À ma mère, Christine*  
*À mon père, Roger*  
*À ma conjointe, Audrey*  
*À mon fils, Elliot (papa t'aime !)*

I think it's very important to have a feedback loop, where you're constantly thinking about what you've done and how you could be doing it better.

---

Elon Musk

# Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu mon directeur de recherche, Monsieur Daniel Beaudoin, et mon codirecteur de recherche, Monsieur Luc LeBel, pour tout l'encadrement, la patience et la confiance dont j'ai pu bénéficier au cours de mon cheminement.

Je remercie ensuite le Fonds de recherche du Québec - Nature et technologies (FRQNT) ainsi que la Fondation de l'Université Laval (Fondation J.A. DeSève) pour leur soutien financier.

Je tiens aussi à remercier chaleureusement l'équipe de Maibec pour leur collaboration durant l'entièreté du projet, ainsi que FPinnovations pour les diverses discussions et collaborations portant vers une meilleure compréhension des cours à bois.

Je suis également très reconnaissant envers le consortium de recherche FORAC pour m'avoir accueilli dans cette équipe dynamique et motivante. L'environnement de travail et les diverses activités de groupe m'ont offert d'importantes opportunités d'apprentissage.

Finalement, je remercie mes collègues de bureau au pavillon Abitibi-Price pour l'ambiance de travail et la camaraderie. Votre support m'a grandement encouragé tout au long de mon projet de maîtrise.

# Avant-propos

Le présent mémoire est le résultat d'un projet de maîtrise effectué sous la supervision de Daniel Beaudoin et de Luc LeBel. Il est composé de deux études de cas, et l'une d'elles est le sujet de deux articles dont je suis le premier auteur. En plus d'avoir rédigé la première version des deux articles, j'ai également effectué les travaux de collecte de données et de modélisation, ainsi que les expériences et les analyses qui en forment le contenu. Les révisions finales des deux articles ont été effectuées par les professeurs Daniel Beaudoin et Luc LeBel.

Le premier article a été présenté à la 10<sup>e</sup> Conférence Internationale de Modélisation et Simulation (MOSIM), qui a eu lieu à Nancy en France du 5 au 7 novembre 2014. Ce dernier s'intitule "Log Yard Design Using Discrete-Event Simulation : First Step Towards a Formalized Approach". J'en suis le premier auteur, et les professeurs Daniel Beaudoin et Luc LeBel en sont les coauteurs. L'article, inséré à l'Annexe A de ce mémoire, est identique à celui qui a été présenté lors de ce congrès.

Le second article s'intitule "Discrete-Event Simulation to Evaluate Log Yard Design Planning". Tout comme pour le premier article, j'en suis également le premier auteur, et les coauteurs sont les professeurs Daniel Beaudoin et Luc LeBel.

# Introduction

## Contexte

La cour à bois est une composante importante de la chaîne de création de valeur des produits forestiers. En effet, les cours à bois servent de régularisateurs pour favoriser le bon fonctionnement de divers processus de transformation du bois, tels que le sciage, le séchage et le rabotage. Toutefois, l'importance de la cour à bois ne se résume pas uniquement à la régularisation des stocks.

En effet, diverses activités de transformation et de valorisation de la matière peuvent y avoir lieu. Dans un contexte d'une usine de sciage, les cours de bois rond (billots et bois en longueur) peuvent impliquer des activités comme le tri, le mesurage et le tronçonnage. Du côté des cours de bois scié (produits semi-finis et finis), ces dernières peuvent souvent abriter des processus de valorisation comme le rabotage ainsi que le séchage par traitement thermique. La cour elle-même peut aussi être utilisée pour effectuer du séchage à l'air libre. Une gestion efficace de l'ensemble de ces activités est par conséquent nécessaire au bon fonctionnement d'un parc à bois.

Puisque la cour à bois peut jouer plusieurs rôles, que ce soit la régularisation des stocks, la consolidation ou l'application de processus à valeur ajoutée [8] [9], il devient par conséquent difficile de trouver des pistes d'amélioration dont l'implantation se déroule de façon harmonieuse.

Le projet de recherche s'inscrit dans un contexte où un nombre grandissant d'industriels forestiers se questionnent sur la performance de leurs cours à bois. Un besoin existe par conséquent chez ces industriels concernant des méthodes et des outils permettant d'améliorer la performance opérationnelle de leurs parcs à bois. Le partenaire industriel du projet, *Maibec Inc.*, désirant améliorer le design et l'opération de leurs parcs à bois, manifestait ce besoin.

## Problématique

De façon générale au Québec, les cours à bois sont gérées selon l'intuition et l'expérience du gestionnaire. Pour cette raison, lorsque des modifications sont apportées sur le design ou



l'opération d'une cour à bois, elles sont faites de façon empirique et progressive. Cette approche n'est pas nécessairement mauvaise, particulièrement pour des projets de petite taille. Mais lorsque vient le temps de se questionner sur son parc à bois lors de projets de plus grande envergure, il devient difficile de mesurer et de quantifier la performance opérationnelle. Cela est dû au fait qu'il existe une multitude de sous-problèmes interdépendants relatifs à la conception et l'utilisation d'entrepôts, s'appliquant aussi dans le contexte des parcs à bois [27].

De plus, la disponibilité des données portant sur l'utilisation des cours à bois est un obstacle additionnel. En effet, très peu de données de production liées directement aux cours à bois sont collectées. Cette situation diffère de celle des usines de sciage, où des données sont constamment collectées pour assurer la traçabilité et garder un suivi de la qualité des produits. De plus, des critères de performance y sont établis et contrôlés. Les cours à bois, quant à elles, ne bénéficient généralement pas d'une telle approche de gestion. Cela est dû principalement au fait que l'utilisation d'une chargeuse peut fluctuer grandement de façon imprévisible au cours d'une journée, et qu'il est difficile de garder un suivi du moment précis où une tâche est effectuée. La disponibilité des données devient alors un obstacle important à considérer.

Ces deux facteurs combinés font en sorte qu'il devient difficile d'estimer les effets potentiels de nouvelles pistes de solution, et par conséquent de les implanter. Le projet de recherche s'inscrit dans un contexte où le partenaire industriel modernise son usine de sciage, ayant directement un impact sur les besoins en capacité (stockage, nombre de chargeuses, etc.) de ses cours à bois. De plus, l'utilisation d'outils permettant d'anticiper les effets d'une piste de solution sur la dynamique de la cour serait un atout intéressant, comme en témoignent les résultats d'un sondage regroupant 34 industriels forestiers Québécois [20]. En effet, la gestion des espaces disponibles et des conditions de décharge font partie des problématiques identifiées comme particulièrement importantes par les répondants.

## **Objectifs et méthodologie**

Le projet de recherche a comme objectif principal d'assister le partenaire industriel avec l'évaluation de la performance anticipée des aménagements de cours à bois en vue de changements majeurs apportés à l'usine.

Pour ce faire, les objectifs qui sont poursuivis dans le cadre de ce projet concernent les deux cours à bois séparément, car les ressources utilisées par chacune sont distinctes. En effet, les superficies dédiées aux stockages des différents types de produits, ainsi que les équipements de manutention, sont mutuellement exclusifs entre les deux cours à bois.

Tout d'abord, du côté de la cour de bois rond, les questionnements concernent l'aménagement. Le positionnement relatif des zones de stockage et des différents processus de transformation est à réévaluer pour assurer un fonctionnement constant de l'usine de sciage. Autrement

dit, le partenaire industriel cherche à savoir si l'aménagement du parc de bois rond tel qu'il est aménagé initialement pourra répondre aux besoins de l'usine de sciage modernisée. Cela constitue le premier objectif de ce projet de recherche.

Les actions nécessaires pour atteindre cet objectif sont les suivantes :

1. Utiliser la méthodologie de conception de parcs à bois proposée par Charles Hampton [13];
  - a) Collecter les données;
  - b) Modéliser les flux de matière;
  - c) Prioriser les relations entre les flux;
  - d) Déterminer les besoins en superficie des activités;
  - e) Élaborer un plan préliminaire.
2. Établir une liste des critères de performance avec le partenaire industriel;
3. Développer un modèle de simulation à événements discrets correspondant à la situation initiale de la cour;
4. Vérifier et valider le modèle en collaboration avec le partenaire industriel, et à l'aide des analyses statistiques;
5. Modifier l'aménagement de la cour dans le modèle de simulation selon le plan développé avec la méthode de Hampton [13];
6. Comparer les critères de performance entre les deux modèles de simulation résultants.

Ensuite, en ce qui concerne la cour de bois scié située de l'autre côté de la scierie, les questionnements portent plutôt sur la réorganisation des charges de travail des chargeuses. Les gestionnaires de la cour de bois scié croient, sans en être entièrement certains, qu'il serait possible de retirer un véhicule de la flotte de cinq chargeuses en réorganisant les charges de travail. Le partenaire industriel cherche à savoir en premier lieu s'il est possible de retirer une chargeuse de sa flotte sans perturber négativement les opérations de la cour à bois. Le cas échéant, il serait nécessaire de déterminer la manière dont les charges de travail des chargeuses devraient être rebalancées pour en arriver à ce résultat.

Pour répondre à ce second objectif de recherche, la méthodologie suivante a été utilisée :

1. Collecter les données;
2. Modéliser les flux de matière;
3. Établir une liste des critères de performance avec le partenaire industriel;
4. Développer un modèle de simulation à événements discrets de la cour de bois scié;
5. Vérifier et valider le modèle en collaboration avec le partenaire industriel, et à l'aide des analyses statistiques;

6. Identifier des pistes de solution permettant la restructuration des charges de travail des opérateurs de chargeuses ;
7. Développer un plan d'expérience pour tester les pistes de solution jugées prometteuses ;
8. Évaluer et comparer les pistes de solution, et fournir des recommandations.

## Revue de littérature

L'industrie forestière est un domaine fort propice à la recherche opérationnelle [6],[11], [26], [29]. Dans le domaine de la recherche opérationnelle, la simulation est considérée comme l'un des outils les plus puissants pour l'opération et le design de systèmes complexes [3], [14]. En effet, comparativement à des méthodes analytiques ou quantitatives, un modèle de simulation implique une crédibilité plus élevée. Ceci est dû au fait que son comportement est comparé directement au système étudié, et qu'un moins grand nombre d'hypothèses simplificatrices doit être posé pour répliquer le système.

Dans la littérature scientifique, on retrouve une liste de bienfaits de la simulation [31]. Il est mentionné que la simulation permet de tester différents aménagements et designs sans investir de ressources pour leur implantation. La simulation facilite également l'identification des goulots, ainsi que l'exploration de différentes règles d'opération et de nouvelles procédures sans interrompre les activités courantes. La plus grande force de la simulation est de permettre aux gestionnaires d'expérimenter avec de nouvelles situations et de répondre à des questions du type "et si...?".

Des modèles de simulation sont déjà utilisés en recherche dans le domaine forestier. Cependant, elle est majoritairement utilisée pour analyser des systèmes autres que les cours à bois. Par exemple, des modèles de simulation ont été développés pour étudier en profondeur et améliorer des systèmes de récolte et de coupe. À l'aide de la simulation, il a été déterminé que des améliorations mineures à la performance du mesurage lors de la récolte auraient un impact positif significatif dans la chaîne de transformation du bois [5]. La simulation à événements discrets a également été utilisée pour comparer l'impact de différentes technologies de récolte sur les coûts de stockage et de la chaîne d'approvisionnement du bois [23]. Un modèle de simulation a également été bâti dans le but de comparer la productivité de deux combinaisons d'équipements selon divers contextes de récolte [38].

La simulation est également utilisée en recherche dans le but d'analyser et améliorer les processus dans les scieries. Un modèle de simulation a été développé dans [7] répliquant les opérations d'une scierie au Michigan. L'étude avait deux objectifs. Tout d'abord, la simulation à événements discrets a été utilisée pour étudier les effets du remplacement d'une machine sur la performance de la ligne de production. Ensuite, il était question d'incorporer une étape de tri à la chaîne de production. Le modèle a alors été exécuté avec différents scénarios pour déterminer les catégorisations de billots maximisant la profitabilité du processus de sciage.

Dans [28], un modèle de simulation à événements discrets a été développé pour analyser une ligne de transformation de petits billots. Le projet avait comme objectif de mesurer l'effet des arrêts de machines sur la production de la scierie étudiée. Les impacts d'augmentations de rythmes de production à diverses étapes de la ligne de transformation ont été mesurés et évalués. Dans [39], la simulation est plutôt utilisée comme outil de validation pour un modèle d'optimisation. En effet, la simulation Monte Carlo a été utilisée dans le but de valider et comparer la performance de deux approches de planification de production pour une scierie.

Des études ont également utilisé la simulation dans un contexte de gestion et contrôle des inventaires de cours à bois. L'article [19] présente la simulation Monte Carlo comme outil pour modéliser divers aléas d'une chaîne d'approvisionnement en billots pour une papetière. Les impacts de diverses variables et aléas sur les fluctuations des stocks dans la cour à bois ont été évalués. Les variables comparées sont notamment les capacités de stockages tampons entre les opérations de récolte et de transport, ainsi que la capacité de récolte. Dans [30], il est plutôt discuté de l'impact d'une demande variable à la scierie sur les inventaires en amont dans la chaîne d'approvisionnement. La simulation est alors utilisée conjointement avec un modèle d'optimisation dans le but de déterminer des politiques d'inventaire minimisant les coûts globaux quotidiens de la chaîne d'approvisionnement.

Les problématiques observées dans les cours à bois sont très similaires à celles observées dans les chaînes d'approvisionnement et les entrepôts de façon plus générale [25]. Il est alors pertinent de documenter les problématiques de design et d'opérations des entrepôts dans le cadre de ce projet de recherche. L'article [37] mentionne notamment que les principaux problèmes présents dans les entrepôts concernent l'assignation des zones de stockage et la gestion des inventaires. En effet, une assignation adéquate des produits à des zones de stockage permet de réduire les distances à parcourir pour la manutention. Cependant, dans [27], la problématique de design d'un entrepôt est plutôt présentée selon un cadre hiérarchique. Il y est présenté que les sous-problèmes aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel sont interreliés, et qu'il est souvent nécessaire de les grouper et de les résoudre simultanément. Par exemple, une décision stratégique comme la quantité et le type d'équipements de manutention à acquérir influence par la suite certaines décisions opérationnelles, comme les horaires et les tâches assignées à chacun de ces équipements. Les problématiques d'opération et de design des entrepôts sont également mentionnées dans [12]. Cet article aborde cependant une approche par processus plutôt que par niveau hiérarchique de décision. De plus, la revue de littérature fournie par [2] porte sur les approches utilisées en recherche pour la conception d'entrepôts. Après avoir présenté plusieurs cas, les auteurs concluent qu'il semble exister un certain consensus quant aux approches générales à appliquer pour développer et planifier des aménagements d'entrepôts. Cependant, il semblerait qu'un désaccord soit encore présent quant aux outils et techniques qui devraient être utilisés, et les étapes précises à suivre dans les méthodologies. Cet article est particulièrement intéressant dans le cadre de ce projet de maîtrise, car une dis-

inction particulière entre la méthode et les outils est faite. De plus, les auteurs mentionnent en citant [18] que la simulation est utile pour l'évaluation et la comparaison des aménagements possibles d'un entrepôt.

La littérature concernant les méthodes d'aménagement des parcs à bois est assez limitée [25]. Elle semble en effet se résumer à celles proposées par Hampton [13], Sinclair [32] et Trzcianowska [36], [35], [34]. Dans Sinclair [32], on peut y trouver une classification des cours de triage de bois. De plus, une documentation des problématiques associées à l'utilisation d'une cour de triage y est fournie. Une description détaillée des types d'équipements existants ainsi que des analyses économiques sont aussi incluses. Les auteurs fournissent des instructions générales concernant l'aménagement ou le réaménagement d'une cour de triage. La méthodologie d'aménagement proposée se pose dans la même direction que dans Hampton [13], qui est la méthodologie suivie dans le cadre de ce mémoire. Les principales différences entre les deux méthodes concernent l'ordonnancement des étapes à suivre. Par exemple, l'approche suggérée par Sinclair implique d'établir relativement tôt un aménagement de base, duquel seraient déterminées les fonctions et les distances à parcourir des équipements. Hampton, quant à lui, propose une approche où les équipements sont connus dès le départ dans la méthodologie. Cependant, une chose que les deux méthodes ont en commun est que l'évaluation des aménagements se fait principalement à l'aide d'estimations et d'approximations. Il existe alors en effet un besoin d'améliorer cette étape de la méthodologie dans un contexte de cour à bois. En se fiant au contexte des chaînes d'approvisionnement et des entrepôts de façon plus générale, il semble raisonnable d'en conclure que la simulation pourrait répondre à ce besoin. Pour sa part, Trzcianowska soulève clairement dans [36] le besoin de développer une méthode systématique de développement de parcs à bois. Par la suite, une étude subséquente menée au Québec par l'auteur [35] identifie les diverses problématiques liées à un aménagement effectué sans méthodologie systématique. L'utilisation inefficace des espaces de stockage et des problèmes de drainage sont notamment mentionnés. Pour terminer, l'auteur effectue une analyse permettant de comparer l'efficacité de ces parcs à bois selon la superficie, les équipements et la main d'oeuvre disponibles et en mesurant le volume annuel de production [34].

Pour terminer, il existe quelques études portant sur l'utilisation de la simulation pour modéliser les opérations dans les cours à bois. Tout d'abord, la simulation à événements discrets a été utilisée dans [4] pour comparer trois stratégies d'allocation de tâches des chargeuses. Les critères de performance mesurés dans le cadre de cette étude sont les temps de cycle des camions, ainsi que la distance parcourue par les chargeuses. Le cas d'étude se concentre alors plutôt sur l'opération que l'aménagement du parc à bois. Une seconde étude de simulation en lien avec les parcs à bois est décrite dans [24]. Différents éléments de l'opération de la cour à bois d'une scierie suédoise ont été modélisés. À l'aide d'un modèle de simulation par agents, différents scénarios concernant les méthodes de déchargement de camions et les capacités de stockage tampon ont été évalués. Les critères de performance évalués sont notamment le nombre de

camions déchargés sur le sol et dans la station de mesurage, la quantité de billots consommés à la scierie, le temps d'attente des camions et les taux d'utilisation des chargeuses. Encore une fois, cette étude se concentre principalement sur des problématiques d'opération de la cour à bois plutôt que sur son aménagement. Plus récemment, une étude utilisant la simulation à événements discrets a été utilisée pour étudier diverses stratégies d'approvisionnement en bois pour une usine de pâte en Suède [17]. La simulation a été utilisée pour comparer différentes approches de rotation des stocks de matières premières dans la cour à bois tout en considérant les capacités finies des équipements de manutention.

## Structure du mémoire

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres. Le premier chapitre constitue une description du cas d'étude. Une description du site, ainsi qu'une description générale du flot de matière et des activités logistiques se déroulant dans les deux cours à bois étudiées, y est fournie. Le deuxième chapitre décrit en détail chaque étape de la méthodologie d'aménagement des cours à bois qui a été utilisée, ainsi que la provenance des données cueillies pour effectuer les analyses. Ce chapitre comprend également des descriptions détaillées de chacun des deux modèles de simulation développés dans le cadre de ce projet de recherche. Le troisième chapitre présente l'article "Discrete-Event Simulation to Improve Log Yard Design Planning", prêt à être soumis au journal International Journal of Forest Engineering. Cet article discute de l'étude de cas s'attaquant à la problématique d'aménagement de la cour de bois rond. La méthode de Hampton ainsi que le modèle de simulation à événements discrets et les résultats de l'étude y sont présentés. Finalement, le quatrième chapitre présente les résultats obtenus avec l'étude de cas de la cour de bois scié, dont l'objectif était de réorganiser les charges de travail des chargeuses effectuant la manutention des produits dans la cour.

# Chapitre 1

## Description du cas d'étude

Le projet de recherche s'effectue en partenariat avec l'entreprise *Maibec Inc.* et se situe dans un contexte de modernisation d'une scierie située à St-Pamphile, Québec, Canada. Cette scierie est utilisée pour la production de bois d'oeuvre du groupe SEPM (sapin, épinette, pin gris et mélèze), et consomme un mélange de sapin et d'épinette. Un volume d'approximativement 500 000 mètres cubes y est transformé annuellement. Le site comprend deux cours de stockage de produits, soit une cour de bois rond (produits bruts) et une cour de bois scié (produits semi-finis et finis). L'étendue du projet de recherche consiste en l'étude de ces deux cours à bois.

La première cour à bois étudiée est utilisée pour entreposer la matière première qui sert d'intrant à l'usine de sciage. La seconde cour à bois sert à stocker les produits semi-finis et finis, et à effectuer les processus de finition des produits. Ces cours à bois sont également utilisées pour effectuer certaines activités de transformation du bois. La Figure 1.1 illustre les activités logistiques se déroulant au site étudié. Les zones encadrées correspondent aux activités se déroulant à l'intérieur des cours à bois étudiées. Le complexe de sciage en soit n'est pas le sujet de l'étude. Cependant, puisqu'il sert d'extrant à la cour de bois rond et d'intrant à la cour de bois scié, certaines données concernant le complexe de sciage ont dû être obtenues et traitées. De plus, les deux cours à bois étudiées sont indépendantes et distinctes. En effet, de par la nature des produits manutentionnés et des activités logistiques, aucun partage d'équipements ou d'espace de stockage ne s'effectue entre les deux cours. Pour cette raison, les parcs à bois ont été étudiés de façon indépendante, avec deux études de cas distinctes.

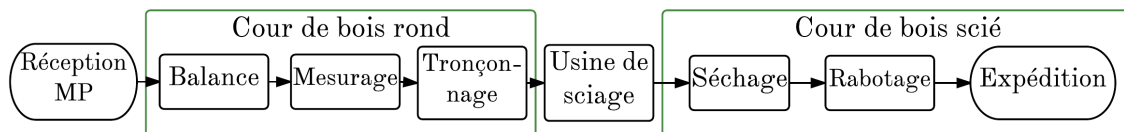


FIGURE 1.1 – Activités logistiques au site de St-Pamphile.

À partir de la balance, chacune des flèches dans la Figure 1.1 correspond à une activité de manutention qui sollicite la capacité d'une chargeuse. Ces activités de manutention consistent en des chargements ou déchargements de camions, ainsi qu'au transport de la matière (matière première, produits semi-finis, produits finis) à travers les deux cours à bois. Il est important de noter que l'activité d'expédition finale peut parfois se faire dès la sortie de la scierie, ou dès la sortie du rabotage. La figure représente cependant la grande majorité des cas. La Table 1.1 résume les activités de manutention à travers les deux cours à bois du site étudié.

Les sections 1.1 et 1.2 décrivent plus en détail les activités logistiques se déroulant dans la cour de bois rond et de bois scié respectivement.

## 1.1 Activités logistiques de la cour de bois rond

La cour de bois rond est utilisée dans le but de stocker la matière première. Cette dernière est illustrée à la Figure 1.2, et est délimitée en noir. Les camions acheminant les billots au site peuvent provenir de deux entrées, soit le rang public (ouest) et l'entrée privée (est). Le rang public consiste en une route pavée d'asphalte sur laquelle circulent des camions dont les dimensions et les charges respectent les normes québécoises sur les véhicules routiers [10]. L'entrée privée, quant à elle, est une route non-pavée par laquelle circulent des camions dont les dimensions et les charges transportées excèdent ces normes. Par conséquent, de plus grands volumes de bois (billots et bois en longueur) sont acheminés par chacun de ces camions individuellement. Ces derniers proviennent directement des États-Unis et circulent exclusivement sur des chemins privés.

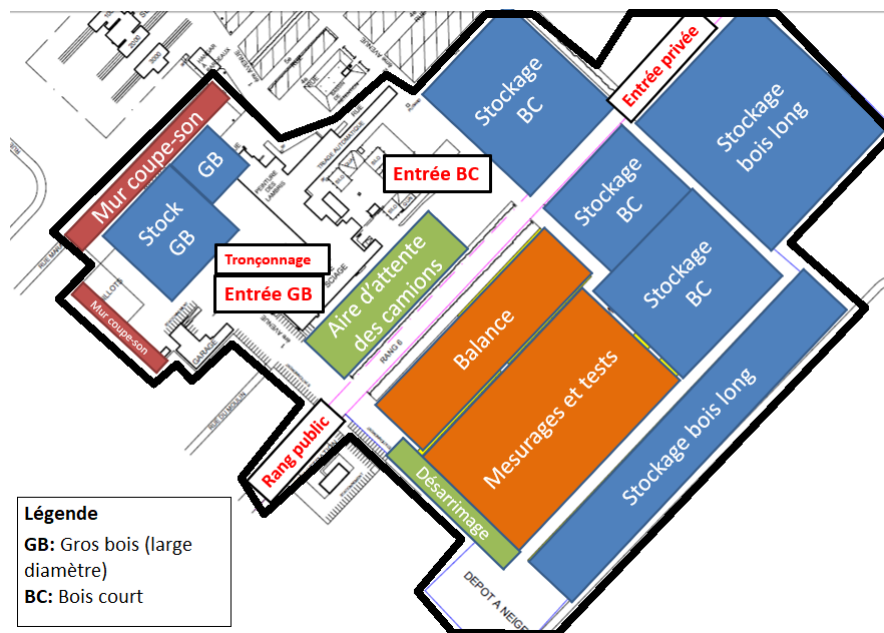


FIGURE 1.2 – Plan de la cour de bois rond.



TABLE 1.1 – Description des tâches principales de manutention à travers les cours à bois étudiées

Source	Destination	Description	Type de chargeuse
Balance	Mesurage et tests	Déchargement d'un camion de matière première	Grue-chargeuse
Mesurage et tests	Stockage BL (bois en longueur) Stockage BC (billots)	Déchargement d'un camion dans une des aires de stockage déterminées	Grue-chargeuse
Stockage BL	Tronçonnage	Transporter le bois en longueur vers le tronçonnage	Grue montée sur camion
Tronçonnage	Stockage BC	Transporter les billots de la station de tronçonnage vers un empilement de bois court	Grue montée sur camion
Stockage BC	Entrée usine de sciage	Transporter les billots vers l'usine de sciage	Chargeuse frontale
Sortie usine de sciage	Stockage bois vert	Transporter des paquets de bois scié vers la zone de stockage "bois vert"	Chargeuse frontale
Stockage bois vert	Séchoir	Transporter des paquets de bois vers les séchoirs	Chargeuse frontale
Séchoir	Stockage bois sec	Déchargement des trains de séchoirs et transport vers le stockage de bois sec	Chargeuse frontale
Stockage bois traité sec	Usine de rabotage	Transporter les paquets de bois vers le rabotage	Chargeuse frontale
Usine de rabotage	Stockage produits finis	Déchargement de la sortie de l'usine de rabotage et transport vers les zones de stockage de produits finis	Chargeuse frontale
Stockage produits finis	Camion d'expédition	Chargement d'un camion d'expédition selon une commande client	Chargeuse frontale

Les activités logistiques se déroulant sur la cour de bois rond sont les suivantes :

- la pesée ;
- le mesurage ;
- les tests ;

- le tronçonnage ;
- le stockage.

Dès l'arrivée d'un camion dans la cour à bois, ce dernier est pesé à la balance. La balance est une station à laquelle chaque camion entrant par le rang (entrée publique) est pesé à deux reprises. En effet, chaque camion est pesé à son arrivée ainsi qu'à son départ, dans le but de mesurer la masse de la charge transportée. Les camions provenant de l'entrée privée sont pesés par une balance située en dehors du site. Lors de chaque pesée, certaines données sont collectées telles que le nom du fournisseur, les poids brut et net, l'heure, ainsi que le type de produit transporté.

Les prochaines activités logistiques de la cour de bois rond sont le mesurage et les tests pour établir le volume du chargement de camion. Ces deux activités sont situées dans l'aire de mesurage, près de la balance. Ces activités consistent au déchargement d'un échantillon (mesurage) ou d'un chargement complet de camion (tests) dans l'aire de mesurage de la manière illustrée à la Figure 1.3. Une fois l'empilement de mesurage ou de test placé, un mesureur mesure les paramètres (diamètre, longueur, carrie) de chaque billot pour en estimer le volume. Le mesurage est effectué par le partenaire industriel dans le but d'y obtenir des facteurs de conversion masse-volume utilisés lors des transactions avec ses fournisseurs. L'intensité d'échantillonnage pour le mesurage, qui est prédéterminée, est fonction de la précision désirée pour chaque fournisseur. Les tests, quant à eux, sont requis par le gouvernement québécois pour déterminer le paiement des redevances.



FIGURE 1.3 – Échantillon de mesurage et de tests.

La majorité (approximativement les deux tiers) des camions provenant de la route publique requièrent le mesurage d'un échantillon de billots. Les camions provenant de la route privée quant à eux ne requièrent pas de mesurage, car l'achat de ces billots se fait uniquement en fonction du poids. Toutefois, les tests peuvent s'effectuer peu importe la provenance des camions. Les tests sont effectués sur 2% des camions entrant dans la cour à bois. Le déclenchement d'un test s'effectue de façon aléatoire, lorsqu'un camion entre dans la cour à bois.

Le tronçonnage, quant à lui, consiste à couper le bois en longueur (tige) en billots de longueurs spécifiées. Les billots tronçonnés par les fournisseurs avant d'être expédiés vers la cour à bois ne nécessitent pas de tronçonnage additionnel sur le site. La station de tronçonnage est approvisionnée en bois en longueur à l'aide d'une chargeuse montée sur camion (Prentice 610). Initialement, les extrants du tronçonnage étaient directement acheminés vers l'entrée de l'usine de sciage à l'aide d'un convoyeur, car la station de tronçonnage était située directement à l'entrée de l'usine. Cependant, les travaux de modernisation de l'usine font en sorte que le tronçonnage et le sciage sont désormais indépendants, requérant alors de la manutention entre les deux processus. La chargeuse Prentice 610 est alors utilisée pour décharger les extrants du tronçonnage. La Figure 1.4 illustre la station de tronçonnage fixe présente au début du projet de recherche, selon l'aménagement initial de la cour à bois.



FIGURE 1.4 – Station fixe de tronçonnage.

Finalement, la dernière activité logistique présente dans la cour de bois rond consiste au stockage des divers produits. Les billots, de longueurs et diamètres variables, sont stockés principalement en fonction de leur longueur et date d'arrivée dans la cour. Les produits sont stockés dans des empilements dédiés et de hauteurs variables selon le type de produit. La même logique est appliquée pour le stockage du bois en longueur. Les camions se font décharger par des grues chargeuses (Tanguay WL430 et Tanguay LL228) directement dans les empilements spécifiés. L'entrée de l'usine est approvisionnée par la chargeuse frontale Volvo L150, ainsi que la chargeuse montée sur camion Prentice 610.

## 1.2 Activités logistiques de la cour de bois scié

La cour de bois scié est utilisée dans le but de stocker les produits semi-finis et finis. Cette dernière est illustrée à la Figure 1.5, et est délimitée en noir. Cette cour est alimentée par le complexe de sciage (1), qui fournit des paquets de produits semi-finis. Ces produits sont alors stockés et traités aux divers autres centres de transformation des produits semi-finis dans la

cour. Ces centres consistent notamment à la zone de séchage (2) qui comprend cinq séchoirs, ainsi que l'usine de rabotage (3).

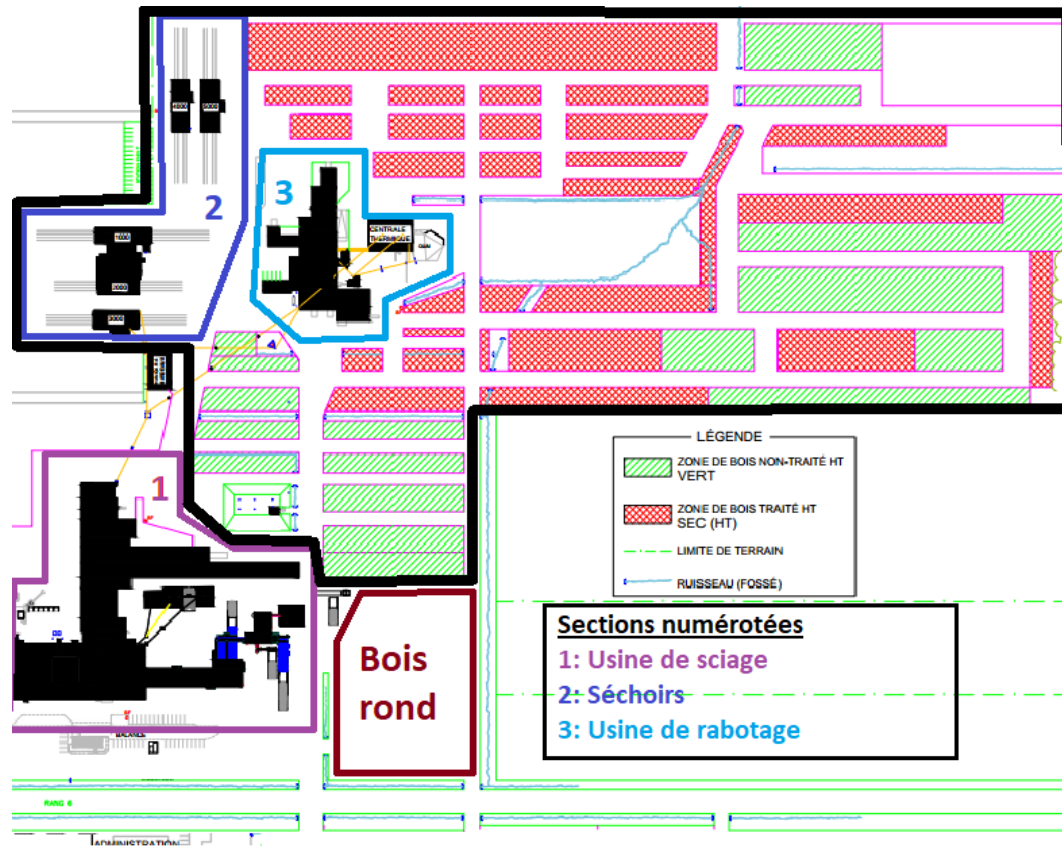


FIGURE 1.5 – Plan de la cour de bois scié.

Pour effectuer la manutention des produits à travers le parc à bois, cinq chargeuses frontales sont utilisées. Chacune des chargeuses est dédiée à l'une des tâches suivantes.

- déchargement des produits sortant du sciage ;
- chargement et déchargement des séchoirs ;
- chargement de l'usine de rabotage ;
- déchargement de l'usine de rabotage ;
- chargement des camions d'expédition des produits finis.

Le séchage est le premier processus de transformation des produits se déroulant dans la cour de bois scié. Il consiste à remplir un four de séchage de bois avec des paquets de produits semi-finis. Pour chaque séchage, une règle de chargement prédéfinie qui en maximise le volume séché est suivie. Une fois le séchoir rempli, la température intérieure du four est augmentée pour réduire l'humidité des produits. La durée du traitement est relativement longue, mais

varie en fonction du séchoir et du niveau initial d'humidité des produits. Un traitement à la chaleur (*Heat Treatment*, ou HT) est également effectué pour éliminer les parasites pouvant être présents dans le bois.

Le rabotage (ou planage) est l'étape de finition des produits. Elle consiste à ajuster les dimensions (largeur, longueur, épaisseur) des planches d'un paquet de produits semi-finis. Lorsqu'un paquet entre dans l'usine de rabotage, il est désassemblé et chaque planche passe une-à-une dans la ligne de rabotage. Le rabotage est un processus divergent. Pour un intrant donné, il peut exister une multitudes d'extrants différents. En effet, pour une planche ayant des dimensions et une essence données, il existe plusieurs niveaux de qualités possibles. Au site étudié, il existe plus d'une douzaine de niveaux de qualité différents pour chaque type de produit (essence et dimensions combinées). Cependant, dû à la disponibilité des données dans l'historique de production du rabotage, les niveaux de qualité ont été agrégés en quatre catégories. Plus de détails concernant le rabotage sont disponibles dans la section 2.8.8 du mémoire.

Finalement, le chargement des camions d'expédition peut s'effectuer dans sept zones de chargement différentes. En fonction du chargement désiré, les paquets à charger dans le camion peuvent être situés à plusieurs endroits différents dans la cour. Il est alors possible qu'un camion doive s'arrêter à plusieurs zones de chargement avant d'être complété. Peu importe le nombre de zones de chargement que doit visiter un camion, ce dernier doit passer par le chemin à sens unique illustré à la Figure 1.6.

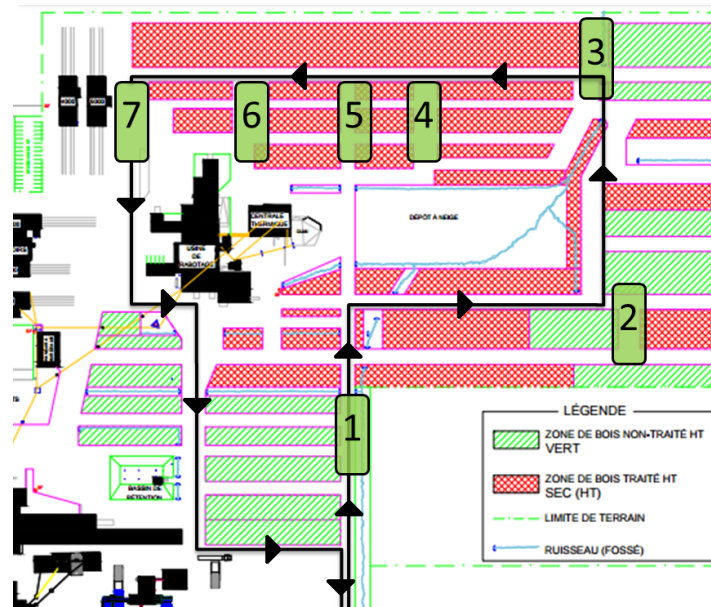


FIGURE 1.6 – Zones de chargement pour l'expédition et routage des camions.

# Chapitre 2

## Méthode

Ce chapitre décrit chaque étape de la méthodologie utilisée, et détaille les données collectées ainsi que leur source pour accomplir chacune de ces étapes.

Le site étudié consiste en un complexe de sciage situé à Saint-Pamphile, au Québec. La cour de bois rond joue un rôle de régulation entre les arrivages de camions transportant les billots et l'entrée de l'usine. Après le sciage, la cour de bois scié est utilisée pour effectuer divers traitements aux produits semi-finis. Les produits finis y sont également stockés avant l'expédition.

Ces deux cours de stockage ont été étudiées séparément, puisque les équipements de manutention utilisés, les règles d'opération et les objectifs des études diffèrent entre les deux cours. Ainsi, deux modèles de simulation à événements discrets ont été développés, soit un pour chacun des parcs à bois.

### 2.1 Données requises et collectées

Pour répondre aux besoins du partenaire industriel, la méthodologie de design de cours à bois proposée par Hampton [13] a été utilisée.

La première étape de la méthodologie de Charles Hampton [13] consiste à recueillir les données nécessaires à la réussite du projet. Cette étape est cruciale, puisque la qualité du travail final en dépend. Les informations spécifiques pertinentes dépendent du type de cours à bois modélisé. Cependant, ces dernières peuvent être regroupées en trois catégories générales, soit les informations sur les activités logistiques qui s'y déroulent, sur la matière qui y est transportée, et sur les équipements de manutention.

Tout d'abord, les informations requises en lien avec les activités logistiques consistent principalement à développer une bonne compréhension des différentes activités se déroulant dans la cour. On cherche d'abord à mesurer les taux ou fréquences d'arrivées des intrants de la



cour. Par la suite, il est important de bien connaître les durées de traitement de ces intrants à chacune des activités se déroulant dans le parc à bois. Finalement, on désire connaître le taux ou la fréquence de sortie des extrants de la cour à bois. Lorsque applicable, il est recommandé de tenir compte de rendements ou conversions entre les intrants et extrants à certains processus. Par exemple, le volume d'entrée et de sortie d'un processus logique peut être différent si une transformation est apportée à la matière. Dans le cas de ce modèle de simulation, le seul processus pour lequel un tel phénomène pourrait être observé est le tronçonnage. Cependant, puisque le bois court n'est pas différencié en plusieurs assortiments dans le cadre de ce projet, l'hypothèse simplificatrice ignorant ce phénomène a été posée. Le partenaire industriel était d'accord avec cette décision, puisque l'impact sur la variabilité de la charge de travail des équipements de manutention est négligeable.

Ensuite, la méthode de Hampton suggère de catégoriser les produits manutentionnés en fonction des activités logistiques et des processus qui leur sont assignés [13]. On y détermine également si les produits seront considérés comme des volumes, ou des unités. Par exemple, dans le cas d'une cour de bois rond dans laquelle aucun tri de type pièce-par-pièce n'est effectué, il est plus avantageux de considérer les produits comme des volumes. Dans le cas d'une cour de bois scié, toutefois, on peut considérer les flux de produits un paquet à la fois, puisque les planches sont groupées en paquets à la sortie de l'usine de sciage.

Finalement, les différentes caractéristiques des équipements de manutention doivent être déterminées. Pour certaines cours à bois, une variété d'options d'équipements peut se présenter, et chaque équipement possède des caractéristiques spécifiques. Par exemple, une chargeuse frontale est généralement plus rapide et versatile que d'autres types de chargeuses, mais elle implique de transporter des volumes plus petits à chaque voyage, et de stocker les produits à des hauteurs moins élevées. Une grue chargeuse, quant à elle, se déplace plus lentement, mais peut servir à stocker les produits en hauteur, et peut décharger des camions de façon plus efficiente. Il est alors important de répertorier pour chaque machine sa vitesse (lège et chargée), ses volumes transportés, et les activités logistiques auxquelles elle est assignée.

En résumé, cette étape de la méthodologie consiste à collecter les informations suivantes :

- pour les activités logistiques :
  - les taux ou fréquences d'arrivées des intrants de la cour ;
  - les taux ou fréquences de sortie des extrants de la cour ;
  - les durées de traitement aux différents centres d'activités de la cour.
- pour les produits manutentionnés dans la cour :
  - agrégation des produits par types d'activités ;
  - considération des produits par volumes, ou pièce par pièce.
- finalement, pour chacune des chargeuses de la cour à bois :

- vitesse de déplacement (chargée, et à lège) ;
- volume transporté par voyage ;
- activités logistique assignées.

### 2.1.1 Particularités pour la cour de bois rond

Les données collectées en lien avec la cour de bois rond proviennent de deux sources, soit celles fournies par le partenaire industriel, Maibec, et celles fournies par une étude de temps et mouvements effectuée par *Forest Engineering Institute of Canada* (FERIC) [33].

L'étude d'efficacité des chargeuses effectuée par FERIC a permis d'établir une liste d'informations sur les différentes chargeuses utilisées sur le site. Les vitesses chargées et lèges de chaque machine, ainsi que les volumes moyens transportés y sont spécifiés. Le temps que prend chaque grue chargeuse pour décharger un camion dans un empilement de stockage a également été déterminé avec l'aide de cette étude.

Les informations concernant les taux d'arrivées des intrants (camions de livraison de billots contenant la matière première) ont été collectées dans l'historique de données de la balance. Puisque la balance est dotée d'un horodateur, l'heure d'arrivée et de sortie du camion est enregistrée, ce qui permet d'identifier le temps que prend le traitement du camion à cette station. De plus, les produits transportés et la masse du chargement du camion sont fournis. À l'aide du facteur de conversion masse-volume du sapin et de l'épinette fourni publiquement par le *US Department of Agriculture* [21], il est possible d'approximer le volume transporté par chaque camion. La nature de ces données fait en sorte que les produits transportés dans la cour de bois rond sont considérés comme des volumes plutôt qu'à l'unité. L'historique de la balance fournit également les détails indiquant si le camion doit passer par une étape de mesurage et/ou de tests. Ces détails ont également été confirmés à travers des discussions avec des gestionnaires de l'approvisionnement chez le partenaire industriel.

Les temps de traitement de camions au désarrimage et au mesurage ont été déterminés à l'aide d'entrevues avec les gestionnaires de l'approvisionnement. Le taux de consommation et de production à la station de tronçonnage a été déterminée avec le directeur du complexe de sciage, Jean-Sébastien Pelletier. Le taux de consommation à l'entrée de l'usine de sciage, qui constitue l'extrant de la cour de bois rond, a été déterminé à l'aide de l'historique de consommation annuelle de 2011, et a été calculé en  $m^3$  par heure en tenant compte du nombre d'heures de production sur l'année.

Quant à ce qui a trait aux propriétés des produits manutentionnés dans la cour, l'agrégation des produits s'est faite selon les activités à effectuer. En effet, les trois catégories de produits sélectionnées sont le bois court (BC), le bois long (BL) et les gros billots (GB). Cette décision a été prise parce que le bois long doit passer par une étape additionnelle de traitement, comparativement au bois court, soit de passer par la station de tronçonnage avant d'être



acheminé à l'entrée de l'usine. De plus, la majorité du bois long provient de l'entrée privée. Une catégorie additionnelle nommée "gros billot" a été établie, car les billots dépassant un certain diamètre doivent passer par une entrée secondaire dans le complexe de sciage. Cela est expliqué par le fait que l'écorceur à l'entrée de l'usine ne peut pas traiter les billots ayant un diamètre excédant 17 pouces.

### **2.1.2 Particularités pour la cour de bois scié**

Puisque la cour de bois scié diffère considérablement de la cour de bois rond en termes d'activités logistiques et de produits manutentionnés, la source des données collectées est également différente.

Les intrants de cette cour, les paquets de bois scié brut vert, proviennent de la sortie du complexe de sciage. L'historique de sortie du sciage de janvier 2015 à mai 2015 a été utilisé pour déterminer les taux d'arrivées des paquets, ainsi que les proportions des produits sortant du sciage selon les dimensions et l'essence. Puisqu'il est très important de considérer les essences et les dimensions des produits, les produits manutentionnés sont considérés en paquets individuels plutôt qu'en flot de volume pour cette cour de stockage.

Les temps de traitement aux séchoirs ont été collectés selon les historiques de données des séchoirs pour janvier à mai 2015. Pour chaque séchoir indépendamment, la nature des chargements (quantités et types de produits) ainsi que les temps de séchage ont été répertoriés. Les temps de séchage à l'hiver ont été mesurés séparément du reste de l'année, car la saison froide a une influence non-négligeable sur le temps de séchage.

Le taux de production à l'usine de rabotage, quant à lui, a été déterminé à l'aide de l'historique de production de mai à septembre 2015. L'historique plus récent a été utilisé car le rythme de production a considérablement augmenté à la fin du mois d'avril 2015, et les historiques précédents ne correspondent plus à la réalité. Le taux de production varie grandement en fonction du produit (dimensions, essence, vert ou sec, etc.), alors une durée de traitement est fournie pour chaque produit passant au rabotage. De plus, la recette (qualités des produits sortants, ainsi que les probabilités de ces qualités) a été obtenue de cette manière et implantée dans le modèle de simulation.

Finalement, le taux d'arrivée des camions d'expédition (constituant les extrants de la cour de bois scié) a été obtenu à l'aide d'entretiens avec la gestionnaire de l'expédition, qui a fourni un historique d'un mois (18 mai au 19 juin 2015) des sorties de camions pour l'expédition. Cet historique permet d'obtenir une fréquence de camions en fonction du jour de la semaine, ainsi que le chargement de produits désirés pour chaque camion.

## 2.2 Modélisation des flux

Comme le mentionne Hampton dans son livre [13], une fois que les classes de produits sont bien définies et que suffisamment de données ont été collectées, il est nécessaire de quantifier les mouvements de ces produits, soit leur entrée dans la cour de stockage, les manutentions à l'intérieur de la cour, jusqu'à leur sortie.

Cela se fait à l'aide d'une cartographie des flux de produits à travers la cour [15]. Une telle cartographie permet de quantifier les interactions entre les activités logistiques se déroulant sur le site, et permet d'anticiper les besoins en capacités de manutention entre chaque activité [1]. La modélisation des flux ne tient pas compte de la position géographique de chaque activité. Le but est d'avoir une représentation graphique des interactions entre les activités, dans le but d'identifier les interactions les plus importantes.

Une fois la modélisation des flux complétée, il est plus facile de déterminer quelles activités devraient être situées près les unes des autres. Autrement dit, on désire que les activités ayant les interactions les plus fortes soient situées le plus près possible les unes des autres. Ce qui introduit l'étape suivante de la méthodologie, soit la priorisation des relations entre les flux.

### 2.2.1 Particularités pour la cour de bois rond

Pour la cour de bois rond, les activités logistiques dont les interactions doivent être quantifiées sont les suivantes :

- arrivages de camions par l'entrée publique ;
- arrivages de camions par l'entrée privée ;
- pesage de camions à la balance ;
- aire de mesurage ;
- aire de tests ;
- déchargement à la zone de stockage de bois court ;
- déchargement à la zone de stockage de bois long ;
- stockage dans l'empilement de gros billots ;
- station de tronçonnage ;
- consommation à l'entrée principale de l'usine ;
- consommation à l'entrée de gros billots de l'usine.

La majorité des activités se déroulant dans cette cour à bois sont en lien avec la manutention de la matière première (mesurage, stockage, chargement, déchargement,...). La seule activité de transformation de la matière première se déroulant à l'intérieur de la cour à bois est le tronçonnage.

## 2.2.2 Particularités pour la cour de bois scié

Pour la cour de bois scié, les activités logistiques dont les interactions doivent être quantifiées sont les suivantes :

- arrivages de paquets à la sortie du complexe de sciage ;
- stockage de produits bruts verts ;
- séchoirs ;
- stockage de produits bruts secs ;
- rabotage ;
- stockage de produits préparés verts ;
- stockage de produits préparés secs ;
- chargement de camions pour l'expédition.

Comparativement à la cour de bois rond, cette cour à bois comprend certaines activités de transformation des produits semi-finis, telles que le séchage et le rabotage. Ces traitements impliquent des règles d'opération légèrement plus complexes, puisque chaque centre possède son propre plan de production à suivre. Malgré le fait qu'une plus grande quantité de produits différents est traitée comparativement à la cour de bois rond, la cartographie des flux de produits regroupe les produits en quatre catégories (brut vert, brut sec, raboté sec, raboté vert) dans le but d'y avoir une compréhension plus macroscopique des interactions dans la cour.

## 2.3 Priorisation des relations entre les flux

Les flux quantifiés dans l'étape précédente peuvent servir entre autre à bâtir un diagramme de relation entre les flux. Pour chaque paire d'activités possible dans la cour, on détermine selon un code pré-établi [22] l'importance de proximité entre ces deux activités. Cette notation attribue une valeur de proximité et un code justifiant cette proximité, tel qu'illustré dans la Table 2.1.

TABLE 2.1 – Notation utilisée dans la priorisation des relations entre les flux.

Valeur	Proximité	Code	Raison
A	Absolument nécessaire	1	Fréquence d'utilisation élevée
E	Spécialement important	2	Fréquence d'utilisation moyenne
I	Important	3	Fréquence d'utilisation faible
O	Proximité ordinaire acceptable	4	Flot d'information élevé
U	Sans importance	5	Flot d'information moyen
X	Indésirable	6	Flot d'information faible

Cette étape est la suite logique de la modélisation des flux, car les flux quantifiés permettent d'établir les importances de proximité. Par exemple, si un flux est important entre deux activités, il devient alors raisonnable de donner une priorité élevée de proximité entre ces deux activités, dans le but d'éventuellement réduire les distances parcourues lors des opérations de manutention.

Il est également nécessaire de donner un ordre de priorité décroissant pour chaque paire d'activités jugée désirable. De cette façon, lorsque vient le temps de concevoir les plans préliminaires d'aménagement de la cour à bois, il devient possible de débiter en positionnant les départements ayant une priorité plus grande.

## 2.4 Assignation des espaces requis pour chaque activité

Cette étape est la dernière à effectuer avant d'être en mesure de bâtir les premiers plans préliminaires. Elle consiste à déterminer la superficie requise pour chacune des zones de la cour. Certaines zones sont particulièrement simples à délimiter, puisque le besoin en espace est directement lié aux dimensions physiques du processus. Par exemple, un séchoir ou une station de balance requiert une superficie fixe et interchangeable dans le temps.

Cependant, certaines zones peuvent impliquer des besoins variables en superficie. Cela est principalement le cas pour les zones de stockage, dont le volume fluctue en fonction de l'effet de la variabilité saisonnière. L'instabilité au niveau de l'approvisionnement en matière première, plus particulièrement l'écart créé entre les volumes entrants et sortants de la cour à bois, influence la quantité totale de produits stockés dans les zones de stockage.

Il est possible d'estimer les besoins en espaces de stockage pour chaque type de produit en analysant des historiques de mesures d'inventaires dans la cour. Si la capacité de stockage globale de la cour est jugée plus que suffisante, il est possible de dédier les aires de stockage en fonction des proportions du volume total que prend chaque produit. Par exemple, si un produit constitue 50% du volume total consommé dans le complexe de sciage, on peut y dédier 50% du volume stockable disponible (pas nécessairement 50% de la superficie). Cela peut être avantageux notamment dans des situations où l'approvisionnement est incertain et variable. Si l'approvisionnement d'un certain produit est plus élevé que prévu, on évite alors de déborder dans les zones de stockage avoisinantes.

Une fois qu'un volume de stockage requis pour chaque type de produit est obtenu, il faut ensuite délimiter la superficie qui supportera ce volume. Ceci est fait en ajustant les longueurs et hauteurs d'empilements en fonction des équipements de manutention, et finalement en surdimensionnant avec un facteur de 0.6 (fourni par Hampton) pour tenir compte de la géométrie des empilements et l'espace gaspillé en résultant.

Dans un contexte de stockage de produits finis et semi-finis, la variable "hauteur" des empi-

lements est moins flexible que pour le stockage de matière première. Cette dernière est très souvent fixée à un empilement d'une hauteur standard de deux paquets. Ce qui fait varier la superficie de stockage est en fait le nombre de paquets par rangée. Le nombre de paquets stockés par rangée dépend des dimensions de la rangée, mais aussi du volume que prend chaque paquet. Considérant que les dimensions de paquets varie en fonction du type de produit, et de la quantité considérable de produits différents, l'attribution des espaces de stockage devient un exercice complexe.

Dans le cadre de ce projet, les espaces requis pour effectuer les activités n'ont pas été remis en question. Stocker la matière à des hauteurs plus élevées aurait impliqué des risques sur le plan de la santé et sécurité au travail, et fort probablement des investissements importants au niveau des équipements de manutention. Le but du partenaire industriel étant de réduire les coûts d'opérations en retirant une chargeuse, cette piste d'amélioration n'a pas été envisagée.

## **2.5 Construction des plans préliminaires**

À l'aide de la modélisation des flux, de la priorisation des relations entre les activités et des superficies définies pour chaque activité, un ou plusieurs plans préliminaires peuvent être bâtis. Sur un plan vide, la première étape consiste à positionner les contraintes d'aménagement. Ces dernières sont généralement des objets ou processus qui existent déjà dans la cour à bois et qui seraient trop coûteux ou impossibles à déplacer. Des contraintes d'aménagement peuvent être l'usine, les délimitations géographiques légales de la cour, certaines routes, les lignes à haute tension du réseau électrique, etc.

Une fois que le plan contient les contraintes d'aménagement, il est possible de suivre la liste définie à l'étape de la priorisation des relations entre les flux, en ordre décroissant de priorité. On positionne l'élément prioritaire d'une manière jugée raisonnable selon les flux de matière, en tenant compte des dimensions permises ou fixées pour l'activité. Une fois le département positionné sur le plan, le prochain élément de la liste est inséré et ainsi de suite jusqu'à ce que le plan préliminaire soit complété.

### **2.5.1 Particularités pour la cour de bois rond**

Puisque la question de recherche concernant la cour de bois rond implique d'évaluer l'impact d'un réaménagement de la cour, une certaine flexibilité quant aux contraintes d'aménagement est disponible. En effet, contrairement à la cour de bois scié, cette cour ne comprend pas un grand nombre de contraintes d'aménagement.

Les principales contraintes sont les suivantes :

- la superficie occupée par le complexe de sciage ;
- les deux entrées par lesquelles arrivent les camions transportant les billots ;

- le positionnement de la balance ;
- le rang qui traverse la cour, parallèle à la balance.

Une certaine marge de manoeuvre est alors permise quant au positionnement et dimensionnement des zones de mesurages et tests, ainsi que pour les zones de stockage de matière première. Il existe également une marge de manoeuvre pour le déplacement de la station de tronçonnage, malgré le fait que cela représenterait un investissement plus significatif.

### 2.5.2 Particularités pour la cour de bois scié

La cour de bois scié étudiée, quant à elle, ne permet pas beaucoup de flexibilité en termes de construction de plans d'aménagement. En effet, les différents processus ne pouvant pas être relocalisés (usine de rabotage, les cinq séchoirs, la sortie du complexe de sciage) limitent considérablement les plans d'aménagement possibles. La seule marge de manoeuvre existante pour l'aménagement de la cour est dans l'assignation des zones de stockage aux différents produits manutentionnés.

## 2.6 Évaluation des plans préliminaires

Une fois les plans préliminaires développés, Hampton suggère d'en comparer la performance [13]. Ce dernier fournit une liste de critères à considérer lors de l'évaluation des plans, soit :

- capacité d'adaptation aux changements ;
- productivité des machines ;
- bonne circulation (pour les machines) ;
- supervision efficace ;
- utilisation optimale des espaces ;
- sécurité.

Bien que tous ces critères de comparaison soient pertinents encore de nos jours, la façon dont la productivité des machines était mesurée se faisait de façon plutôt approximative. En effet, cette comparaison s'effectuait à partir d'approximations hebdomadaires et mensuelles de flux de matière manutentionnée. Cette perception macroscopique des opérations d'une cour fait abstraction de détails importants tels que la charge de travail et les distances parcourues par chaque équipement de manutention, la présence ou non de pénuries dans certaines zones de stockage tampons, etc. Il est donc utile de développer des modèles de simulation à événements discrets à cette étape de la méthodologie, car ces derniers peuvent fournir ces informations importantes.

Puisque les plans préliminaires comparés ont été jugés avoir préalablement répondu aux critères de sécurité et de supervision, les indicateurs de performance à comparer dans le cadre de ce projet de recherche sont les suivants :

1. taux d'utilisation des chargeuses (pourcentage de leur capacité prévue selon les horaires de travail) ;
2. distances hebdomadaires parcourues par chaque chargeuse (en kilomètres par semaine).

Ces indicateurs de performance sont comparés à l'aide du modèle de simulation bâti à cet effet.

## **2.7 Conception et validation du modèle de simulation pour la cour de bois rond**

La présente section décrit le modèle de simulation bâti sur SIMIO dans le but d'évaluer et comparer les différents plans d'aménagement de la cour de bois rond. Le modèle a été construit avec la version 5.87 de SIMIO, en utilisant la librairie standard [16].

Puisqu'il n'existe pas de données historiques assez précises pour effectuer une analyse statistique, le modèle de simulation de type Status Quo a été validé par le partenaire industriel de manière empirique. Ce dernier a validé les déplacements des machines dans le modèle, les vitesses de déplacement, les sens uniques et les durées des opérations. Une fois que le modèle a été jugé adéquat, les modèles de simulation des plans d'aménagement alternatifs ont été développés à partir du modèle initial.

### **2.7.1 Entités**

Les entités dans ce modèle de simulation représentent les camions transportant la matière première (billots et bois long) et les sous-produits du sciage (copeaux, sciures, ...).

Le modèle comprend huit types de camion provenant de la route publique (chacun variant en taux d'arrivées et en volumes moyens transportés) et deux types de camion provenant de la route privée, chacun transportant également un volume moyen différent et ayant son propre taux d'arrivée indépendant. Une entité "Expedition" est également générée à la sortie du complexe de sciage, et représente les camions d'expédition de sous-produits du sciage (sciures, copeaux, etc.).

Les volumes transportés par ces camions, ainsi que les volumes stockés dans la cour à bois, sont représentés par des variables d'état. Par exemple, les variables d'état représentant les stocks dans les zones de stockage sont incrémentées à chaque déchargement de camion. Inversement, ces dernières sont décrémentées lorsqu'une chargeuse retire des produits pour approvisionner la scierie. La Table 2.2 résume les types d'entités utilisés dans ce modèle.

TABLE 2.2 – Liste des entités du modèle de simulation.

Entité	Bois court	Bois long	Route publique	Route privée	Volume moyen ( $m^3$ )
Cedre*			X		0,0
Expedition*			X		0,0
BoisLong		X	X		40,6
Billot8pi	X		X		11,6
Billot9pi	X		X		26,9
Billot10pi	X		X		10,1
Billot89pi	X		X		15,9
BTPATE	X		X		12,5
BoisCourt	X		X		36,4
BC_HorsRoute	X			X	69,1
BL_HorsRoute		X		X	75,3

\*Les types d’entités ”Cedre” et ”Expedition” ne transportent pas de produits qui sont stockés dans la cour de bois rond, mais utilisent la capacité de la balance. Puisqu’une activité logistique de la cour à bois est sollicitée par ces types de camion, il est nécessaire de les ajouter au modèle.

Avec le logiciel SIMIO, les entités sont générées à l’aide d’un module Source. Le modèle comprend donc 11 de ces modules, soit huit situés à l’entrée publique, deux situés à l’entrée privée et une dernière située à la sortie du complexe de sciage.

Les arrivées de camions suivent une loi de Poisson avec un taux moyen d’arrivée variant d’heure en heure. Ces derniers varient en fonction de l’entrée (rang public, route privée), du jour de la semaine (illustré à la Figure 2.1) et de l’heure de la journée (un exemple pour la journée de mardi est illustré à la Figure 2.2). L’Annexe B.2 inclut les données précises entrées dans le modèle à cet effet. Ces fluctuations de taux d’arrivées de camions justifient notamment l’utilisation de modèles de simulation à événements discrets pour l’évaluation des plans préliminaires, plutôt que d’évaluer les flux de matière de façon macroscopique tel que suggéré par Hampton [13].

De plus, il est important de considérer qu’il existe un effet de saisonnalité sur les arrivages de camions au fil de l’année. Bien que les arrivées de camions à travers l’entrée publique soit relativement stables tout au long de l’année, les arrivages de camions par l’entrée privée sont réduits à zéro lors de la période de dégel, durant le printemps. L’effet de cette saisonnalité est discuté plus en détail dans l’explication des scénarios et des expérimentations, dans la sous-section 2.7.7.



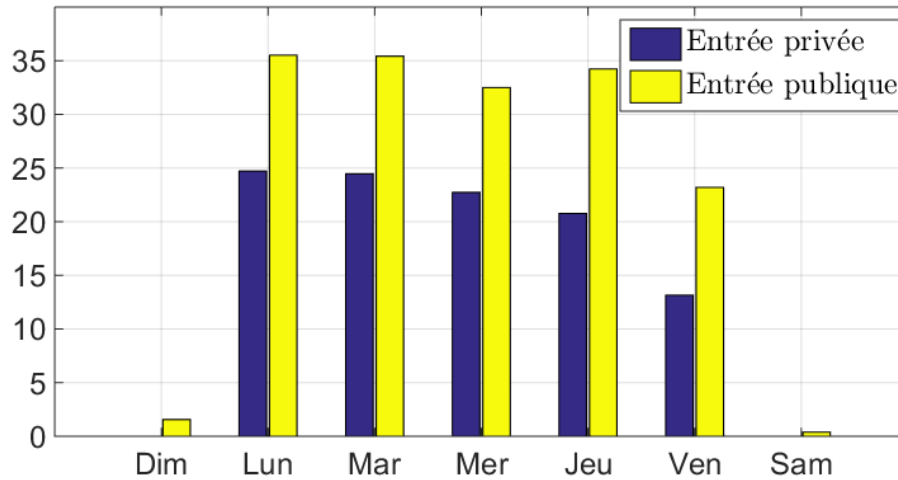


FIGURE 2.1 – Taux d’arrivées moyens de camions par jour de la semaine (cour de bois rond).

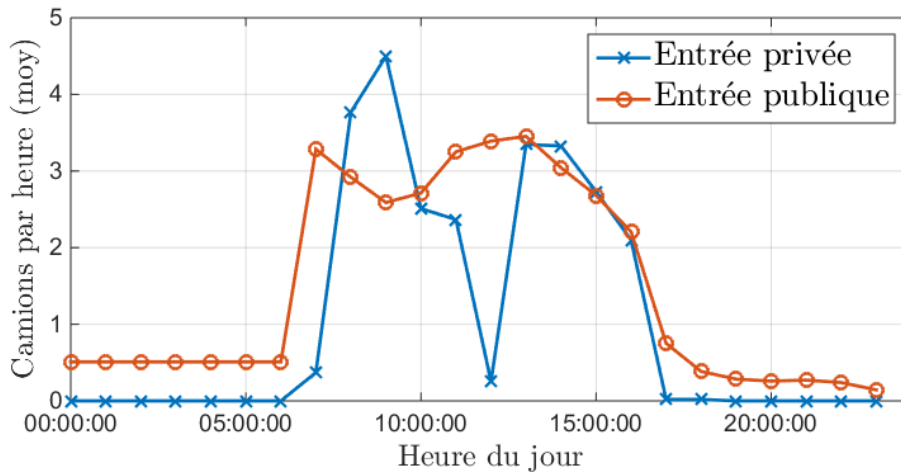


FIGURE 2.2 – Taux d’arrivées moyens de camions par heure de la journée (cour de bois rond).

### 2.7.2 Routage des entités

Dans le but de faciliter la compréhension du routage des entités dans ce modèle, la Figure 2.3 représente la suite de décisions que prend le modèle en fonction de la provenance et du contenu d’un camion arrivant sur le site de la cour à bois.

Le routage des entités se fait à l’aide de processus complémentaires (*Add-On Process*), en assignant une séquence (une liste de noeuds à visiter selon un ordre précis) à chaque entité entrant dans le système. Il est également possible qu’un certain pourcentage d’entités parcourt une séquence différente. Lorsque c’est le cas, une étape *Decide* probabilistique est ajoutée dans le processus complémentaire, et une *Sequence* légèrement modifiée est assignée pour respecter le comportement désiré. Les probabilités sont décidées en fonction de la cartographie des flux. Par exemple, s’il est observé que 5% d’un certain type de camion passe par l’activité A,

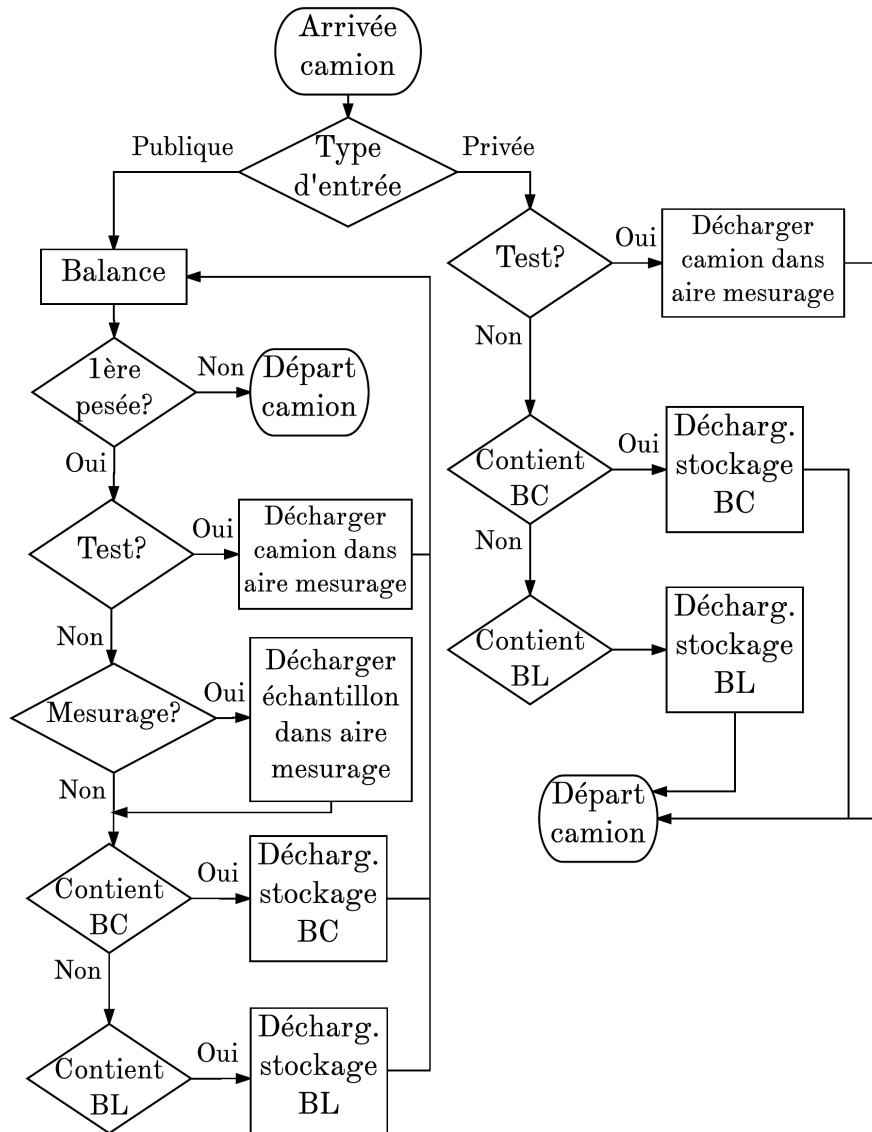


FIGURE 2.3 – Diagramme de flux de processus pour le routage des camions arrivant dans la cour de bois rond.

mais que le reste des camions ne passe pas par cette activité, une étape *Decide* est ajoutée, avec une valeur *ProbabilityBased* = 0.05 menant vers une séquence qui passe par l'activité A, sinon le jeton choisit la séquence standard. Les Figures 2.4 et 2.5 correspondent aux processus d'assignation des séquences pour les camions provenant de la route publique et privée respectivement.

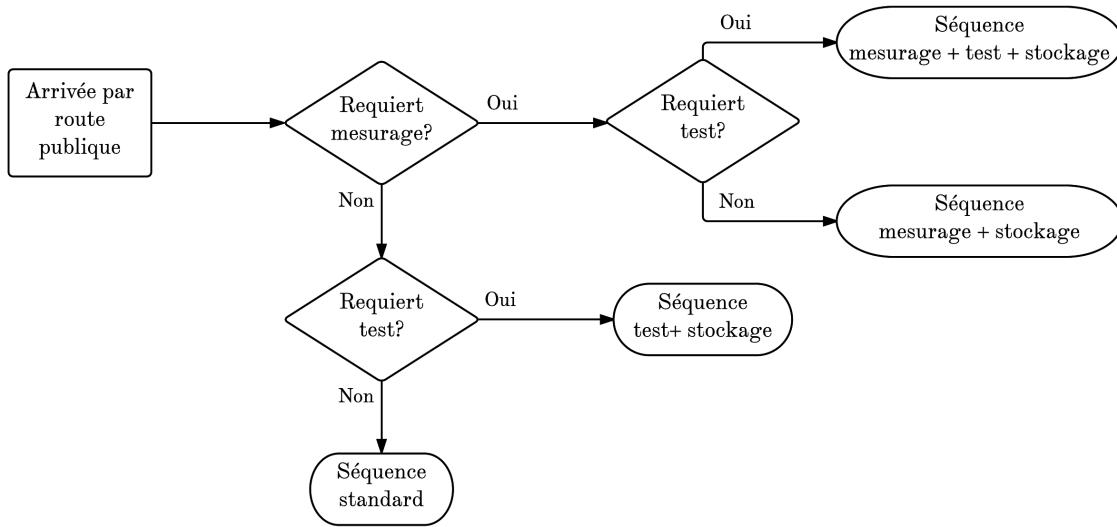


FIGURE 2.4 – Diagramme de flux de processus pour l’assignation d’une séquence aux entités provenant de la route publique.

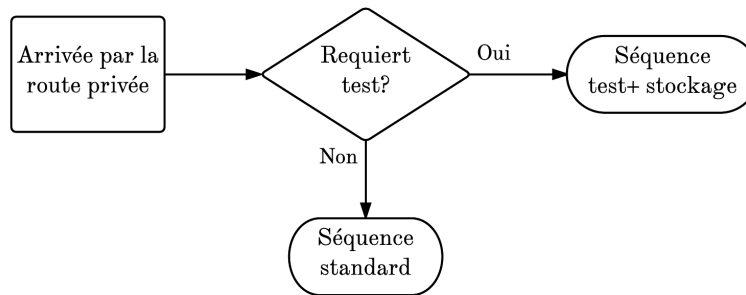


FIGURE 2.5 – Diagramme de flux de processus pour l’assignation d’une séquence aux entités provenant de la route privée.

### 2.7.3 Variables

Les variables d’état (*State Variables*) les plus importantes sont principalement reliées aux différents niveaux d’inventaire dans la cour à bois. Ces zones de stockage sont agrégées en deux catégories. La première regroupe les zones de stockages principales, où la majorité du volume de matière première y est stocké. La seconde catégorie consiste en des zones de stockage tampon aux entrées et sorties des différents processus de transformation, notamment l’usine de sciage et la station de tronçonnage.

Les variables d’état portant sur les zones de stockage principales sont les suivantes :

- StaInventoryBC : Quantité stockée (en mètres cubes) de bois court.
- StaInventoryBL : Quantité stockée (en mètres cubes) de bois long.

- StaInventoryPU : Quantité stockée (en mètres cubes) de bois court stocké près de l'entrée de l'usine.
- StaInventoryGB : Quantité stockée (en mètres cubes) de gros billots.

Les variables d'état qui concernent les stockages tampon près des activités de transformation de la matière première sont les suivantes :

- StaInventoryUsine : Quantité stockée (en mètres cubes) dans la zone tampon à l'entrée de l'usine. Le bois qui y est stocké est exclusivement du bois court, car il n'y a pas de tronçonnage à l'entrée de l'usine.
- StaInventoryUsineGB : Quantité (en mètres cubes) de gros billots accumulée à l'entrée de l'usine.
- StaInventorySlasher : Quantité (en mètres cubes) de bois long stockée à l'entrée de la station de tronçonnage.
- StaInventorySlasherGB : Quantité (en mètres cubes) de gros billots accumulée à la sortie de la station de tronçonnage.
- StaInventorySlasherBC : Quantité (en mètres cubes) de bois court accumulée à la sortie de la station de tronçonnage.

Tel qu'expliqué précédemment, ces variables d'état sont incrémentées et décrémentées au cours des réplifications du modèle. Les variables concernant les zones de stockage principales sont incrémentées lorsqu'un camion est déchargé dans la zone respective, et décrémentées lorsqu'une chargeuse approvisionne son contenu vers un processus de transformation de la matière première. Les variables d'état correspondant aux zones de stockage tampon sont décrémentées selon le rythme de consommation de l'usine et de la station de tronçonnage respectivement, et incrémentées lorsqu'un stock est généré à la sortie du processus. Les activités de manutention par les chargeuses affectées à ces tâches ont également un effet sur ces variables d'état.

#### 2.7.4 Ressources

Les ressources du modèle de simulation sont divisées en deux catégories, soit les chargeuses et les activités logistiques de la cour.

La première catégorie comprend la flotte de chargeuses, qui est modélisée sur SIMIO comme une population de véhicules. La Table 2.3 résume pour chaque chargeuse son type, ses vitesses (allège et chargée), ainsi que ses tâches principales dans la cour de bois rond. Puisqu'elles sont modélisées comme des véhicules dans le modèle de simulation, ces ressources sont mobiles et sont principalement utilisées pour la manutention de la matière première à travers la cour à bois. Certaines chargeuses peuvent cependant être utilisées en tant que ressources secondaires pour une activité logistique, comme le déchargement de camions.

Certaines chargeuses, notamment les grues chargeuses Tanguay, n'ont pas comme tâche principale de manutentionner de matière première vers l'usine ou la station de tronçonnage. Néan-

TABLE 2.3 – Descriptions générales des chargeuses de la cour de bois rond - vitesses et tâches.

Nom	Type	Vitesse allège (km/h)	Vitesse chargée (km/h)	Tâche principale
Volvo L150	Chargeuse frontale	30,5	20,1	Appro. scierie (BC)
Tanguay LL228	Grue chargeuse	4,1	4,0	Déchargement des camions
Tanguay WL430	Grue chargeuse	5,6	5,2	Déchargement des camions
Prentice 610	Grue sur camion	7,0	5,1	Chargement/déchargement du tronçonnage Appro. scierie

moins, ces équipements possèdent la capacité d’effectuer de telles tâches, tel que démontré dans la Table 2.4. Pour chaque chargeuse, lorsqu’utilisée pour transporter des volumes de bois, les temps de chargement et déchargement (en minutes) sont décrits. De plus, le volume moyen transporté en mètres cubes est donné. Les deux grues chargeuses Tanguay transportent un même volume moyen car le même modèle de remorque est utilisé. Le volume moyen transporté par la chargeuse Prentice varie entre  $20m^3$ , si du bois court est manutentionné, et  $30m^3$  si du bois long est transporté.

TABLE 2.4 – Temps de chargement et déchargement et volumes moyens transportés des chargeuses en mode rapprochement (cour de bois rond).

Nom	Type	Temps de chargement (min.)	Temps de déchargement (min.)	Volume moyen transporté ( $m^3$ )
Volvo L150	Chargeuse frontale	0,4	0,2	8,9
Tanguay LL228	Grue chargeuse	7,9	11,4	22,7
Tanguay WL430	Grue chargeuse	7,1	7,8	22,7
Prentice 610	Grue sur camion	7,6	5,4	20,0 - 30,0

La seconde catégorie de ressources comprend les activités logistiques se déroulant dans la cour à bois. Certaines activités requièrent l’utilisation de chargeuses comme ressource secondaire, tandis que d’autres peuvent s’exécuter sans chargeuse. La Table 2.5 résume les activités logistiques liées au traitement des camions, tandis que la Table 2.6 résume les propriétés des processus consommant la matière première. La durée de déchargement d’un camion dépend du type de produit ainsi que du volume transporté par ce dernier. Un tableau détaillant les distributions aléatoires utilisées pour modéliser les temps de déchargement est disponible à l’Annexe B.1.

TABLE 2.5 – Propriétés des activités de traitement de camions (cour de bois rond).

Activité logistique	Temps de traitement (min.)	Ressources secondaires
Balance	Random.Triangular(2,3.5,7)	Non
Désarrimage	Random.Triangular(6,10,13)	Non
Déchargement de camion	Variable, voir Annexe B.1	Tanguay LL228 ou Tanguay WL430

TABLE 2.6 – Propriétés du sciage et du tronçonnage.

Activité logistique	Consommation ( $m^3/h$ )	Capacité stockage ( $m^3$ )	Seuil de réapprov. ( $m^3$ )	Intrant	Extrants
Tronçonnage	61,6	100,0	50,0	BL	BC et GB
Usine de sciage	125,0	80,0	20,0	BC	Bois scié et GB

### 2.7.5 Tâches des chargeuses

Cette sous-section décrit la logique modélisée à l'intérieur du modèle de simulation pour chaque type de chargeuse. Cette logique est utilisée pour répliquer le comportement des opérateurs de chargeuses. Pour chaque catégorie de chargeuse, un diagramme de flux représentant les ordres de priorités des chargeuses en fonction de différents événements est présenté.

Tout d'abord, la chargeuse frontale Volvo L150 est assignée exclusivement à l'entrée de l'usine de sciage. Cette dernière a comme priorité d'assurer un approvisionnement permettant un fonctionnement continu de la scierie. Pour cette raison, la zone de stockage tampon en bois court à l'entrée de l'usine ne doit jamais être vide. De plus, lorsqu'une trop grande quantité de gros billots est présente à l'entrée de l'usine (billots rejetés avant d'être acheminé à l'écorceur), la chargeuse s'occupe de réacheminer ces billots vers l'empilement prévu à cet effet. Le diagramme de flux résumant son fonctionnement est illustré à la Figure 2.6.

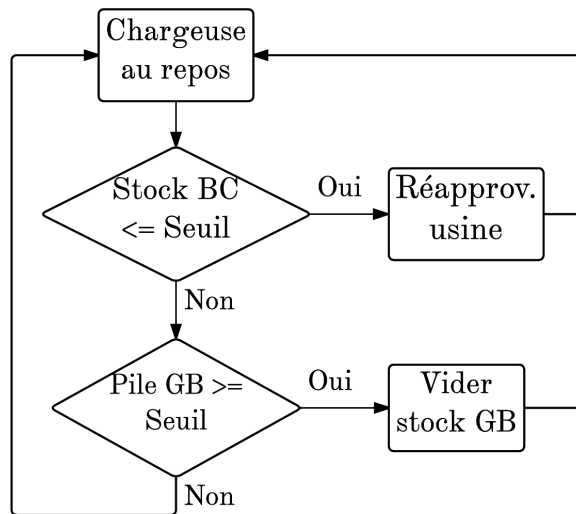


FIGURE 2.6 – Diagramme de flux de processus pour la chargeuse frontale (Volvo L150).

Ensuite, la logique utilisée pour modéliser les grues chargeuses Tanguay LL228 et Tanguay WL430 est légèrement plus complexe. Ceci est dû au fait que les chargeuses peuvent être utilisées comme ressources secondaires à plusieurs endroits sur le site. En effet, ces chargeuses peuvent être utilisées pour décharger des camions dans la zone de mesurages et de tests, ainsi que dans les empilements de bois court et de bois long. La Figure 2.7 illustre le diagramme de flux de processus pour ces chargeuses. Les camions nécessitant d’être déchargés par les Tanguay, que leur provenance soit de l’entrée privée ou publique, sont rassemblés dans une file d’attente commune pour toutes les zones de déchargement. Cette file est de type ”premier arrivé, premier servi”.

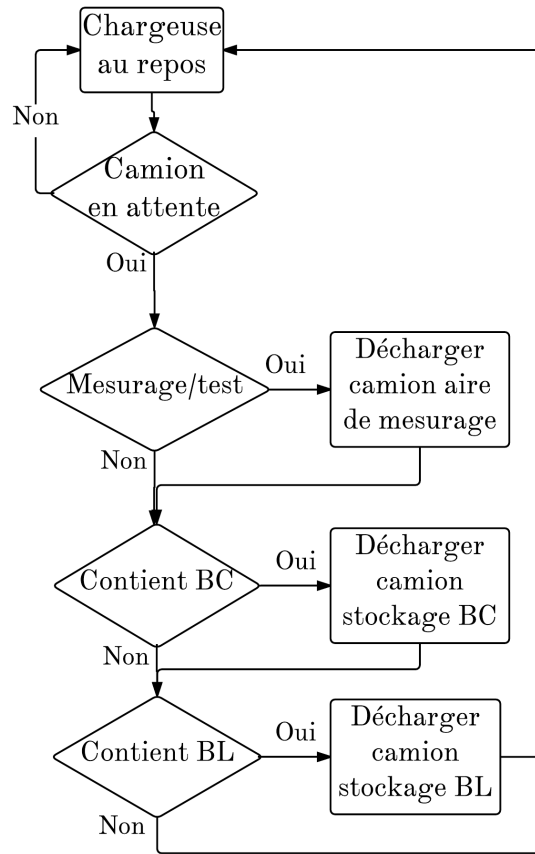


FIGURE 2.7 – Diagramme de flux de processus pour les grues chargeuses (Tanguay LL228 et WL430).

Pour terminer, la grue chargeuse montée sur camion (Prentice 610) a comme principale tâche d’assurer le bon fonctionnement de la station de tronçonnage. Son opérateur doit gérer et maintenir un stock tampon à l’entrée du tronçonnage, et acheminer les extrants du processus vers l’entrée du complexe de sciage ou les emplacements de stockage. Son cycle d’opération est illustré à la Figure 2.8.



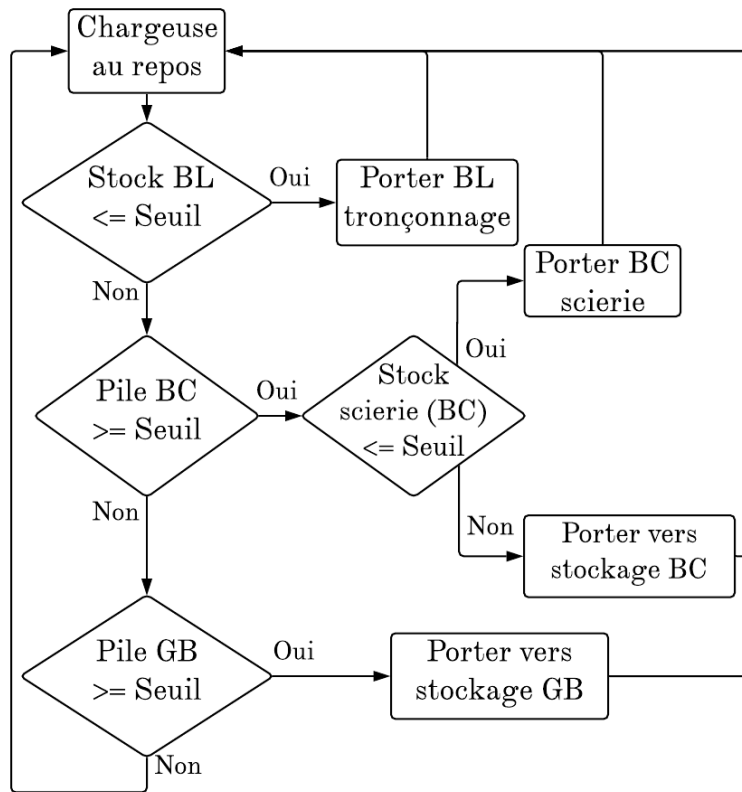


FIGURE 2.8 – Diagramme de flux de processus pour la chargeuse montée sur camion (Prentice 610).

### 2.7.6 Horaires

Les ressources à l’intérieur du modèle de simulation n’ont pas toutes les mêmes horaires de travail. En effet, bien que certaines ressources, comme la balance, aient une disponibilité de 24h/7, les autres ressources possèdent des horaires qui leurs sont propres.

La Table 2.7 résume les différents horaires de travail pour les ressources du système. Les cellules du tableau cochées indiquent que la capacité du processus est disponible durant cette plage de temps, tandis qu’une cellule vide indique que la capacité est indisponible. Il est important de noter que la chargeuse frontale Volvo L150 possède exactement le même horaire de travail que la scierie, et que la chargeuse montée sur camion Prentice 610 possède le même horaire de travail que la station de tronçonnage.

### 2.7.7 Conditions d’expérimentations

L’application de la méthode de Hampton a permis de générer des alternatives d’aménagement qui ont été proposées à l’entreprise. Cette dernière n’a retenu qu’un seul plan alternatif à comparer au plan actuel (statu quo). Pour cette raison, puisque chaque plan est évalué pour

TABLE 2.7 – Horaires de travail des différentes ressources du modèle (cour de bois rond).

Plage de temps	Scierie	Tronçonnage	Tanguay LL228	Tanguay WL430
07 :00 - 12 :00	X	X	X	X
12 :00 - 13 :00				
13 :00 - 15 :00	X	X	X	X
15 :00 - 16 :00			X	X
16 :00 - 17 :30	X	X	X	X
17 :30 - 18 :00	X	X		X
18 :00 - 00 :00	X	X		

les périodes à forte demande de capacité (hiver) et à faible demande en capacité (printemps), un total de quatre scénarios a été évalué dans le cadre des expérimentations pour cette étude.

Ceci a été fait pour permettre au partenaire industriel de faire un compromis mieux éclairé entre les points à basse et forte demande en capacité. Par exemple, déterminer la capacité de manutention en ne tenant compte que de la période de forte demande risque d’entraîner une surcapacité lors des périodes de plus faible demande. La recherche d’un compromis entre le temps d’attente des camions en situation de sous capacité de manutention et la surcapacité d’équipement de manutention en période de faible demande est à préconiser.

La Table 2.8 résume les quatre scénarios évalués à l’aide du modèle de simulation à événements discrets. Les deux plans préliminaires à évaluer sont le statu quo (station de tronçonnage non déplacée) et un plan préliminaire à l’intérieur duquel la station de tronçonnage est relocalisée plus près de l’entrée privée.

TABLE 2.8 – Résumé des scénarios évalués (cour de bois rond).

Scénario	Saison	Demande en capacité	Tronçonnage déplacé
1	Hiver	Élevée	
2	Hiver	Élevée	X
3	Printemps	Faible	
4	Printemps	Faible	X

Un nombre de 50 réplifications a été effectué pour chacun des scénarios. Chaque réplification a un temps d’exécution d’une semaine, et une période de réchauffement d’une journée. Cette période de réchauffement permet au système modélisé de se stabiliser avant de commencer la collecte des statistiques de performance.

## 2.8 Conception du modèle de simulation pour la cour de bois scié

La présente section décrit le second modèle de simulation bâti dans le cadre de ce projet de maîtrise. Ce dernier modélise les processus de la cour de bois scié située à la même scierie.

Ce modèle a été bâti avec la version 7.124 de SIMIO, en utilisant également la librairie standard [16].

### 2.8.1 Entités

Des entités sont utilisées pour modéliser trois concepts de la cour de bois scié. Tout d’abord, tout comme pour le modèle portant sur la cour de bois rond, les camions d’expédition sont représentés par des entités. Ensuite, les entités sont également utilisées pour représenter les produits manutentionnés. En effet, il existe un type d’entité pour chaque produit semi-fini ou fini manutentionné à travers la cour. Chaque entité de ce type représente un paquet de produits du même nom. Finalement, certaines entités, nommées ”règles de chargement”, sont utilisées pour modéliser le fonctionnement des séchoirs, qui est expliqué plus en détail dans la sous-section 2.8.7.

Les arrivées de camion d’expédition suivent la même logique que ceux de la cour de bois rond, c’est-à-dire les entités les représentant sont générées à l’aide d’un module Source. Ce dernier génère les entités suivant des distributions aléatoires. En effet, les arrivées suivent des lois exponentielles dont la moyenne, en camions par heure, varie en fonction du jour de la semaine, et de l’horaire du bureau d’expédition. La Figure 2.9 illustre le nombre moyen observé de camions par jour de la semaine, tandis que l’horaire du bureau d’expédition est disponible dans la sous-section 2.8.5.

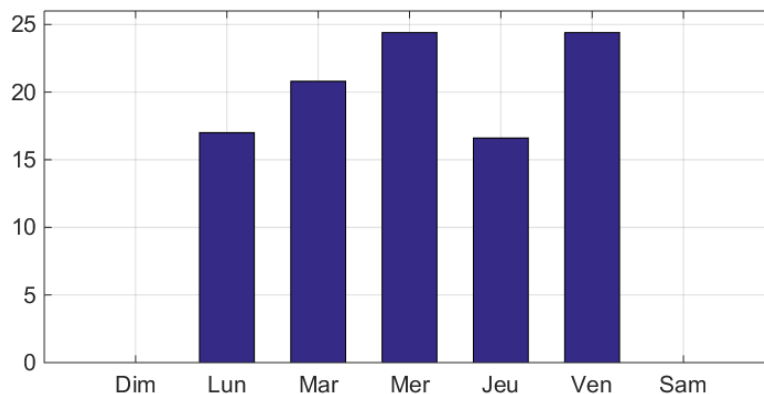


FIGURE 2.9 – Taux d’arrivées moyens de camions par jour de la semaine (cour de bois scié).

Quant aux entités qui représentent les paquets de produits, il est important de noter qu’il

existe une très grande quantité de ces derniers. Elles sont catégorisées selon les caractéristiques suivantes ;

- l'essence (sapin, épinette, mixte) ;
- le niveau d'humidité (sec, vert léger, vert, vert "bleu") ;
- le niveau de finition (brut, préparé) ;
- les dimensions du produit (largeur, épaisseur, longueur) ;
- pour les produits rabotés et secs, la qualité (inférieur, intermédiaire, MSR, supérieur).

Les entités du modèle peuvent être regroupées par processus (séchage, rabotage) de la façon suivante :

- **brut vert**, produits non séchés et non rabotés (134 types d'entités) ;
- **brut sec**, produits séchés et non rabotés (120 types d'entités) ;
- **préparé vert**, produits rabotés et non séchés (14 types d'entités) ;
- **préparé sec**, produits rabotés et séchés (480 types d'entités).

Toutefois, puisque les processus de séchage et de rabotage comprennent des recettes spécifiques aux entités, ces dernières ont été modélisées individuellement. Par conséquent, l'hypothèse simplificatrice permettant de les regrouper par processus n'est pas valable. Ce regroupement permet cependant d'observer que la majorité des entités correspond aux produits finis préparés secs, puisque c'est à cette étape du processus de valorisation qu'un grade de qualité est attribué au produit.

### 2.8.2 Routage des entités

Pour mieux comprendre la façon dont le routage des camions d'expédition se déroule, il est nécessaire de décrire le processus de chargement des camions. Tout d'abord, il existe sept zones de chargement différentes à travers la cour. Ensuite, les camions parcourent les zones de chargement dans un sens unique qu'il faut respecter (voir la Figure 1.6 à la section 1.2 du mémoire). Finalement, il arrive fréquemment qu'un chargement de camion requiert des produits stockés à diverses zones de chargement. Considérant ces spécifications, le processus de routage des entités se fait à l'aide de processus complémentaires (*Add-On Process*) sur SIMIO. Le diagramme de flux à la Figure 2.10 représente le processus d'assignation des séquences en fonction de la présence de produits stockés près de chacune des zones de chargement de camion.

Pour ce qui est du routage des entités représentant les paquets de produits sortant de divers processus (sciage, séchage, rabotage), le routage est relativement simple, car chaque produit comprend sa propre zone de stockage dédiée. La principale différence entre la sortie des

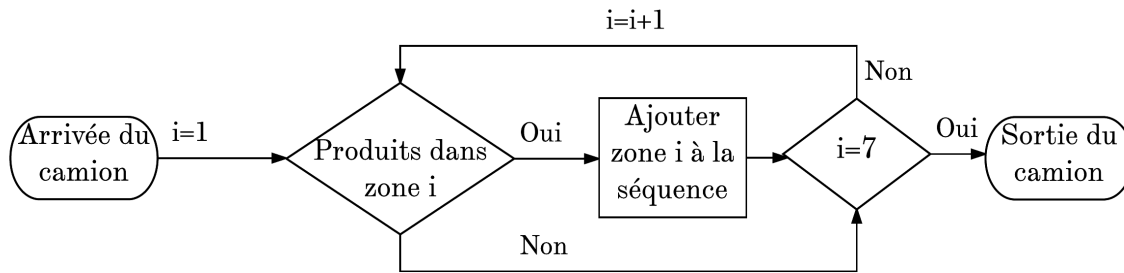


FIGURE 2.10 – Fonctionnement du routage des camions d’expédition.

processus est qu’une chargeuse différente est sollicitée par chacun d’eux. À la sortie de chaque processus, l’entité se fait assigner un noeud de destination correspondant à l’entrée de la zone de stockage assignée au produit. Toutes ces entités se font assigner une variable d’état booléenne indiquant si le produit est sec (1) ou vert (0). Par conséquent, lorsqu’un produit initialement ”vert” sort du processus de séchage, son noeud de destination change également.

### 2.8.3 Variables

Le modèle de simulation de la cour de bois scié comprend une multitude de variables d’état (*State Variable*). Ces dernières sont utilisées comme compteurs (pour garder un suivi du nombre de chaque type d’entité présent à un processus), mais aussi pour assigner des durées et vitesses qui varient au long de l’exécution du modèle. Il est possible de regrouper les variables selon une catégorisation comme suit :

1. quantité de produits requis au chargement de camions ;
  - a) une variable pour chaque combinaison de dimensions et de qualité ;
  - b) environ 480 variables d’état de ce type ;
2. quantité de produits requis pour le séchage ;
  - a) une variable pour chaque combinaison de dimensions, d’essence et de qualité ;
  - b) environ 120 variables d’état de ce type ;
  - c) les cinq séchoirs utilisent les mêmes variables, car un seul séchoir est chargé à la fois ;
3. durée de traitement au rabotage ;
  - a) variable dont la valeur est réassignée dès qu’un nouveau type de produit entre au rabotage ;
  - b) sa valeur initiale correspond à la durée de traitement du premier item dans la liste du plan de production ;
  - c) une seule variable de ce type ;

4. durée de traitement au séchage ;
  - a) variable dont la valeur est réassignée dès qu'une nouvelle règle de chargement de séchoir est produite ;
  - b) sa valeur initiale correspond à l'expression aléatoire correspondant à la durée de séchage de la première règle choisie ;
  - c) l'expression de durée varie en fonction du séchoir et de la règle de chargement sélectionnée ;
  - d) cinq variables de ce type, soit une par séchoir ;
5. variables déterminant le nombre de produits transportés par voyage pour certaines chargeuses ;
  - a) tout dépendant du produit et de la chargeuse, il est possible de transporter deux paquets par voyage plutôt qu'un ;
  - b) une variable d'état est utilisée pour déterminer le nombre maximal de paquets transportés par voyage ;
  - c) la variable peut avoir une valeur de un, ou deux ;
6. variables déterminant la vitesse de déplacement des chargeuses ;
  - a) utilisées pour différencier les vitesses lèges et chargées des équipements de manutention ;
  - b) lorsqu'une chargeuse prend un chargement de paquets, sa vitesse est réassignée et réduite en fonction des données collectées ;
  - c) lorsqu'une chargeuse vide son chargement, la variable est réassignée à sa valeur initiale (lège) ;
  - d) deux variables de ce type, soit une pour la vitesse lège et une pour la vitesse chargée.

Certaines variables d'état sont utilisées également pour faciliter la collecte de statistiques. Par exemple, des variables d'état sont combinées avec des *Tally Statistics* dans le but d'observer les taux d'utilisation quotidiens des ressources. Cela est fait puisque SIMIO ne fournit par défaut que les taux d'utilisation globaux sur la durée d'exécution du modèle.

#### 2.8.4 Ressources

Le modèle de simulation de la cour de bois scié comprend les ressources suivantes :

- cinq chargeuses frontales munies de fourches (*Vehicles* sur SIMIO) ;
- cinq séchoirs (*Servers* sur SIMIO) ;
- un complexe de sciage (*Source* sur SIMIO) ;
- une usine de rabotage de produits (*Server* sur SIMIO) ;

- un bureau d'expédition (*Server* sur SIMIO).

Le sciage, les séchoirs, le rabotage et l'expédition sont des processus relativement complexes dont les explications détaillées sont disponibles dans les sous-sections suivantes :

- Complexe de sciage : section 2.8.6 ;
- Séchage : section 2.8.7 ;
- Rabotage : section 2.8.8 ;
- Expédition : section 2.8.9.

Pour ce qui est des chargeuses, ces dernières possèdent toutes les mêmes caractéristiques, qui sont les suivantes :

- Vitesse lège de 25,0 km/h ;
- Vitesse chargée de 20,1 km/h ;
- Temps de chargement de 0,4 minute ;
- Temps de déchargement de 0,2 minute.

Cependant, les tâches qu'a chaque chargeuse sont assignées de la façon décrite dans la Table 2.9.

TABLE 2.9 – Tâches des chargeuses frontales dans la cour de bois scié.

Nom	Tâche principale	Paquets par voy.
SortieSciage	Déchargement des produits accumulés au sciage	1
EntreeRabotage	Chargement de la zone de stockage tampon à l'entrée du rabotage	1
SortieRabotage	Déchargement de la zone de stockage tampon à la sortie du rabotage	2
Sechoir	Chargement et déchargement des trains de séchage pour les séchoirs	1
Expedition	Chargement des camions d'expédition	1

Puisque la majorité de ces chargeuses n'ont comme tâche principale que d'effectuer des allers-retours entre les zones de stockage et les processus visés, des diagrammes de flux illustrant leurs priorités et logiques ne sont pas nécessaires. Il est cependant important de prendre en note que la chargeuse s'occupant des séchoirs doit toujours prioriser le vidage des trains de séchoirs avant d'en remplir de nouveaux. De plus, la chargeuse s'occupant de la sortie du rabotage doit effectuer de la double manutention. En effet, cette dernière doit regrouper les produits identiques par groupes de deux avant de les acheminer dans les zones de stockage. Cela implique le besoin de plusieurs petites zones de stockage tampons à la sortie du rabotage.

### 2.8.5 Horaires

Les divers centres de transformation des produits à travers la cour sont indépendants les uns des autres et chacun d'eux possède donc son propre horaire. Cela a également un impact sur les horaires des chargeuses, notamment celles qui sont affectées par les rythmes de production de ces centres. La Table 2.10 résume les horaires de chacune de ces ressources.



TABLE 2.10 – Horaire de disponibilité des ressources pour le modèle de simulation de la cour de bois scié.

Ressource	Disponibilité lundi au jeudi	Disponibilité vendredi
Séchoirs	24h	24h
	06 :00 - 09 :00	06 :00 - 09 :00
	09 :15 - 12 :00	09 :15 - 12 :00
Chargeuse (séchoirs)	12 :30 - 15 :15	12 :30 - 15 :15
	15 :30 - 18 :30	15 :30 - 18 :30
	19 :00 - 21 :45	19 :00 - 21 :45
	22 :00 - 01 :00	22 :00 - 01 :00
	01 :15 - 02 :45	06 :45 - 08 :45
	06 :45 - 09 :15	09 :00 - 10 :45
	09 :30 - 11 :15	11 :00 - 12 :45
Complexe de sciage	11 :30 - 13 :15	15 :15 - 17 :45
	13 :45 - 15 :45	18 :00 - 19 :45
	18 :15 - 20 :45	20 :15 - 21 :45
	21 :00 - 23 :15	22 :00 - 23 :45
	23 :45 - 01 :00	
	00 :30 - 02 :00	00 :00 - 02 :00
	05 :55 - 08 :30	05 :55 - 08 :00
	08 :45 - 10 :30	08 :15 - 10 :00
Chargeuse (sciage)	10 :45 - 12 :00	10 :15 - 12 :00
	13 :00 - 15 :00	14 :30 - 17 :00
	17 :30 - 20 :00	17 :15 - 19 :00
	20 :15 - 22 :30	19 :30 - 21 :00
	23 :00 - 00 :15	21 :15 - 23 :00
	00 :00 - 06 :00	00 :00 - 06 :00
	06 :25 - 14 :00	06 :25 - 14 :00
Rabotage	14 :45 - 22 :20	14 :45 - 22 :20
	22 :55 - 00 :00	22 :55 - 00 :00
	07 :00 - 09 :30	07 :00 - 09 :30
Bureau d'expédition	09 :45 - 12 :00	09 :45 - 12 :00
	12 :30 - 14 :30	12 :30 - 14 :00
	14 :45 - 16 :30	14 :15 - 15 :30
	07 :00 - 09 :30	07 :00 - 09 :30
Chargeuse (expédition)	09 :45 - 12 :00	09 :45 - 12 :00
	12 :30 - 14 :30	12 :30 - 14 :00
	14 :45 - 16 :00	14 :15 - 15 :00

### 2.8.6 Modélisation des arrivées de produits dans la cour

Les arrivées de produits semi-finis dans la cour de bois scié sont modélisées à l'aide d'un module Source dans SIMIO. Ce module représente la sortie du complexe de sciage. Pour que ce module puisse simuler adéquatement la sortie du complexe de sciage, il est nécessaire que la source génère des entités à une fréquence synchronisée avec l'horaire de production de la scierie. De plus, le type d'entité généré doit être aléatoire, tout en respectant la recette de production du sciage.

Pour synchroniser le module Source avec l'horaire de production du sciage, le mode d'arrivées avec des taux variant en fonction du temps (*Time Varying Arrival Rate*) est utilisé. Ce mode d'arrivées nécessite d'entrer un nombre moyen de paquets arrivant par heure, à chaque heure de la semaine. Il est donc possible de se synchroniser avec les horaires de production du sciage, en insérant des valeurs nulles lorsque la scierie n'est pas en fonction. Le modèle de simulation suppose un régime de production constant à la scierie. Aucun aléa de bris ou d'interruption n'a été modélisé, car on désire avoir des activités de manutention dans la cours de bois scié qui peut supporter une production à plein régime.

La méthode utilisée pour générer les bons types de produits sortant du sciage est la suivante. Avant de générer une entité, le module Source se réfère à un tableau externe qui lui est lié. Ce tableau fournit une liste de tous les extrants potentiels du sciage, ainsi que la probabilité relative d'occurrence de chaque produit. Un échantillon de ce tableau est disponible à l'Annexe C.3.1. Une rangée du tableau correspondant à un type d'entité est sélectionné aléatoirement, en fonction des pondérations de probabilité données.

La pondération qui est indiquée en annexe est calculée par rapport à la somme de tous les autres poids. Une manière d'interpréter cette valeur serait de voir le poids comme un nombre total d'occurrences d'un événement. Si par exemple un événement a une pondération de 12 sur un total de 585, alors sa probabilité d'occurrence est de  $12/585$ , soit approximativement 2%.

La Figure 2.11 résume le processus derrière la génération des arrivées de produits dans la cour de bois scié.

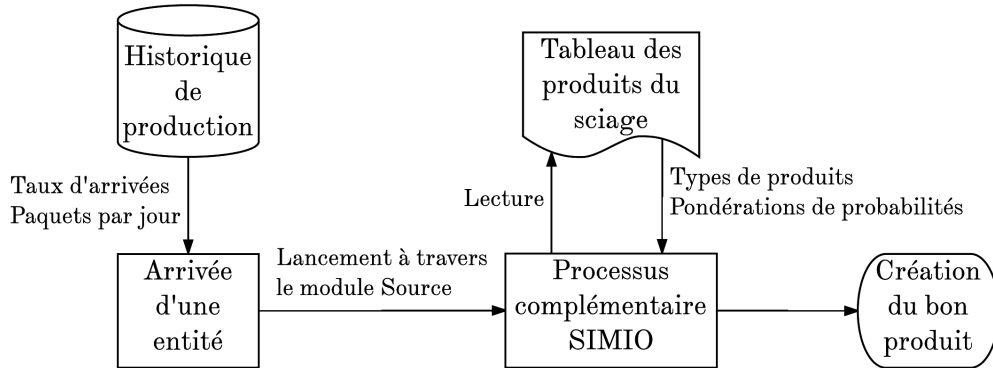


FIGURE 2.11 – Fonctionnement de la génération des extraits du sciage.

### 2.8.7 Modélisation du séchage

Les séchoirs sont modélisés à l'aide de modules *Server* sur SIMIO. Chacun des cinq séchoirs est un *Server*, et possède sa propre liste de règles de chargement (quantité et type de chaque produit à sécher). De plus, la chargeuse assignée à la manutention des séchoirs ne peut s'occuper que de charger un séchoir à la fois. Elle peut cependant commencer à charger un train de séchage dès que ce dernier a été déchargé. Il n'est pas nécessaire de décharger tous les trains des cinq séchoirs avant de commencer à en charger un.

Dans le contexte de ce modèle, la capacité d'un séchoir est déterminée par le nombre de paquets pouvant y être traité par séchage. De façon générale dans l'industrie, cette dernière est plutôt spécifiée en pieds mesure de planche (pmp) et reste fixe pour un séchoir donné. Cependant, sur SIMIO, la capacité d'un *Server* est définie par le nombre d'entités pouvant être traitées simultanément. Puisque le nombre total de paquets par séchage varie d'une règle de chargement à l'autre pour un même séchoir, il devient nécessaire de modéliser les capacités des séchoirs et de leurs zones de stockage tampons à l'entrée (*Input Buffer*) et à la sortie (*Output Buffer*) comme des valeurs pouvant être modifiées au cours de l'exécution du modèle.

Pour faciliter la gestion des règles de chargement dans le modèle de simulation, un sixième *Server* est utilisé. Ce dernier traite des entités correspondant aux diverses règles de chargement possibles, et est relié à cinq modules *Source*, soit un par séchoir. Chacun de ces modules génère des entités de type "Regle" pour un séchoir correspondant, tel que résumé à la Table 2.11. Lors du lancement du modèle, ces cinq modules *Source* choisissent aléatoirement, selon les probabilités, une règle de chargement chacune. Ces dernières sont alors traitées selon une file d'attente de type "premier-arrivé, premier-servi" par le *Server*. Le tableau correspondant aux quantités de produits pour chacune des règles de chargement est disponible à l'Annexe C.4.3.

En bref, en parallèle aux cinq *Servers* représentant les séchoirs, on a donc cinq *Sources* qui sont liées à un *Server* "fantôme" qui gère les règles de séchage à traiter.

TABLE 2.11 – Assignment des sources et des règles de chargement pour chaque séchoir.

Séchoir	Source	Règles de chargement
Sechoir1000	Source1	Regle31 Regle71
		Regle41 Regle91
		Regle51 Regle101
Sechoir2000	Source2	Regle52 Regle82
		Regle62 Regle92
		Regle72 Regle102
Sechoir3000	Source3	Regle13 Regle43
		Regle23 Regle53
		Regle33
Sechoir4000	Source4	Regle14
		Regle44
Sechoir5000	Source5	Regle15 Regle45
		Regle35 Regle105

Lorsqu’une nouvelle règle de chargement arrive à ce *Server* ”fantôme” ou externe (une nouvelle règle est générée lorsqu’un séchage se termine), ce dernier se réfère à un tableau externe lié au modèle et détermine les quantités de chaque type de produit qui doivent être acheminées au séchoir. Ces quantités déterminent également la capacité du séchoir et de son stockage tampon pour le séchage à venir. Ces actions déclenchent par la suite un événement qui cible et déclenche la manutention des produits nécessaires au séchage par la chargeuse qui en est responsable. De plus, le noeud de destination de ces paquets de produits est assigné, et correspond au séchoir visé par la règle de chargement traitée au *Server*.

Avant de commencer un séchage, le séchoir doit attendre que la quantité de paquets dans sa zone de stockage tampon (*Input Buffer*) corresponde à la quantité totale de la règle de chargement. Il est nécessaire de bloquer la capacité du séchoir sur SIMIO dans ce cas-ci car, sur ce logiciel, le comportement que prend un *Server* par défaut est de commencer à traiter les entités entrantes dès qu’elles sont disponibles. Lorsque cette condition est respectée, le séchoir accepte l’entièreté du chargement et une expression aléatoire correspondant au temps requis pour le séchage est assignée. Cela est dû au fait que les durées de traitement varient grandement en fonction du séchoir et de son chargement. Les durées varient également de manière saisonnière. Par exemple, durant la période hivernale, certaines règles de chargement requièrent plus de temps pour compléter le séchage. Ces durées sont disponibles à l’Annexe C.4.1 pour l’été et à l’Annexe C.4.2 pour l’hiver.

Dès qu’un chargement de séchoir commence à être séché, le *Server* externe termine son traitement d’une entité ”Regle” et peut en traiter une autre dans sa file d’attente. Une nouvelle entité ”Regle” pour le séchoir visé est générée et est placée en dernière position de la file d’attente. Ce processus permet d’assurer la continuité des processus de séchage. De plus, lorsque la prochaine règle de chargement est acceptée à ce *Server*, de nouvelles valeurs de capacité de

stockage tampon à l'entrée du séchoir sont assignées. La capacité à l'intérieur du séchoir doit cependant rester inchangée tant que le séchage actuel n'est pas complété.

Finalement, lorsqu'un séchage est terminé, l'intégralité de son contenu est vidé dans sa zone de stockage tampon à la sortie du processus (*Output Buffer*). Les paquets qui y sont stockés se font assigner une priorité supérieure à celle des produits non-séchés. Ceci implique que la chargeuse assignée à leur manutention doit prioriser le vidage des séchoirs à son remplissage. Cette priorisation permet d'éviter un engorgement potentiel de certains séchoirs.

La Figure 2.12 illustre le processus de gestion des règles de chargement et du fonctionnement d'un séchoir. Ces processus fonctionnent en tandem pour assurer le bon fonctionnement des séchoirs dans le modèle de simulation.

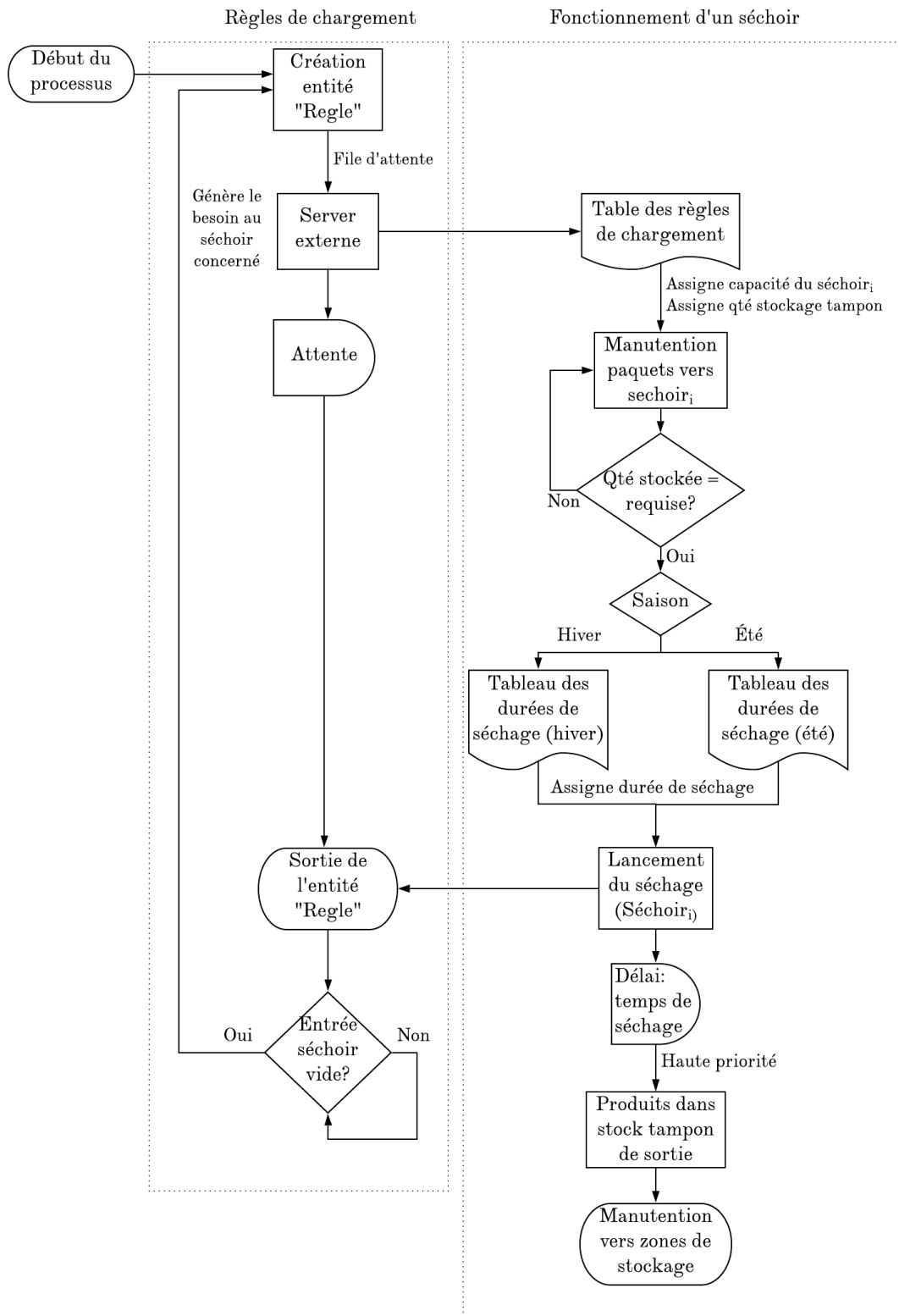


FIGURE 2.12 – Fonctionnement des séchoirs et des règles de chargement.

### 2.8.8 Modélisation du rabotage

L'usine de rabotage, tout comme les séchoirs, est modélisée à l'aide d'un module *Server*. Ce dernier traite cependant un paquet à la fois suivant une file d'attente "premier-arrivé, premier-servi". Les principales particularités de cette ressource sont le fait que la durée de traitement varie d'un produit à l'autre et que le processus est divergent, c'est-à-dire qu'un produit entrant peut résulter en plusieurs types de produits différents de même dimension. Pour déterminer quel produit doit être traité à l'usine de rabotage, des processus complémentaires et des variables d'états sont utilisés.

Tout d'abord, un tableau contenant les données pertinentes à la production du rabotage est lié au modèle de simulation. Ce dernier contient des informations sur le type de produit, la quantité de chaque produit à traiter, ainsi que la distribution aléatoire exprimant la durée de traitement du produit. Ce tableau contient un type de produit par rangée, et lorsque la quantité de produits traités dans le modèle atteint la valeur correspondante dans le tableau, la production à l'usine de rabotage passe au prochain produit. Lorsque le modèle termine la dernière rangée du tableau, ce dernier est répété de façon cyclique.

La Table 2.12 représente le plan de production pour l'usine de rabotage utilisé dans le cadre de l'étude de cas. Ce plan de production a été établi avec l'aide du partenaire industriel et correspond à un plan de production standard au rabotage. Les expressions aléatoires pour la durée du traitement ont été obtenues à l'aide de données historiques. Lorsque l'on voit "ProductionLogData", cela signifie qu'on utilise de façon aléatoire une valeur de durée historique. Sinon, on prend la valeur maximale entre le premier terme de "Math.Max" et la valeur obtenue aléatoirement selon la distribution normale concernée.

Pour garder un suivi adéquat des quantités de produits acheminés à l'usine, des variables d'états sont utilisées tel des compteurs à l'entrée de l'usine et pour la chargeuse assignée à son approvisionnement. D'ailleurs, cette chargeuse comprend un processus complémentaire dans le but d'assurer la manutention du bon type de produits vers le rabotage. Cela est dû au fait que, considérant que l'entrée du rabotage est le noeud de destination de tous les produits semi-finis stockés et que SIMIO pousse par défaut ces entités vers leur destination, il est nécessaire que le véhicule les transportant puisse effectuer un tri de ces demandes de déplacement. Autrement dit, une vaste quantité d'entités demandent à cette ressource d'être transportées, mais cette dernière doit sélectionner celles qui sont pertinentes pour l'usine de rabotage. Pour ce faire, un processus complémentaire est ajouté à l'étape de l'évaluation des requêtes de transport (*Evaluating Transport Request*) de la chargeuse. Ce processus est très simple, car il ne fait que vérifier si l'entité effectuant la requête de transport correspond au type de produit requis dans le tableau de cycle de production au moment de la requête. Si ce n'est pas le cas, la chargeuse refuse la demande de transport et ignore l'entité jusqu'au moment où la condition est respectée. Lorsque la chargeuse accepte la requête de transport

TABLE 2.12 – Cycle de production pour l’usine de rabotage.

Produit	Qté	Expression aléatoire pour la durée de traitement (minutes)
SciEpi2x6x16	400	ProductionLogData[LogData.prob2616.RandomRow].SciEpi2x6x16
SciEpi2x6x14	300	Math.Max(4.220833,Random.Normal(5.387,0.8034))
SciEpi2x6x12	200	ProductionLogData[LogData.prob2612.RandomRow].SciEpi2x6x12
SciEpi2x6x10	100	Math.Max(2.85625,Random.Normal(4.701,0.9555))
SciEpi2x6x9	50	Math.Max(3.415,Random.Normal(5.946,2.590))
SciEpi2x6x8	50	ProductionLogData[LogData.prob268.RandomRow].SciEpi2x6x8
SciEpi2x6x7	50	Math.Max(3.89375,Random.Normal(6.165,2.017))
SciEpi2x6x6	50	Math.Max(2.929166,Random.Normal(7.023,4.131))
SciEpi2x4x16	300	Math.Max(6.239166666666667,Random.Normal(8.054,1.152))
SciEpi2x4x14	250	Math.Max(5.385416666666667,Random.Normal(8.486,2.770))
SciEpi2x4x12	100	Math.Max(4.78921568627451,Random.Normal(6.979,1.817))
SciEpi2x4x10	50	ProductionLogData[LogData.prob2410.RandomRow].SciEpi2x4x10
SciEpi2x4x9	50	Math.Max(4.63137254901961,Random.Normal(5.329,0.5118))
SciEpi2x4x8	20	Math.Max(3.935555555555556,Random.Normal(6.116,1.705))
SciEpi2x4x7	20	ProductionLogData[LogData.prob247.RandomRow].SciEpi2x4x7
SciEpi2x4x6	20	ProductionLogData[LogData.prob246.RandomRow].SciEpi2x4x6

d’une entité, la variable d’état agissant comme compteur est incrémentée. Lorsque le compteur atteint la quantité désirée dans le cycle de production, le modèle passe à la prochaine rangée et les compteurs sont réinitialisés.

La seconde particularité concernant l’usine de rabotage est le fait que ce processus de transformation de produits est divergent. En effet, pour un même intrant, il existe une multitude d’extrants différents. Pour modéliser cette particularité, deux tableaux sont liés au modèle de simulation. Le premier tableau (voir Annexe C.2.1) indique pour chaque type de produit entrant les différents produits sortants possibles. Les produits finis sont regroupés en quatre niveaux de qualité différente soit inférieur, intermédiaire, MSR, et supérieur. Il existe alors quatre types d’entités de produits finis pour chaque produit semi-fini entrant au rabotage. Ce tableau liste donc le nom de ces entités. Le second tableau (voir Annexe C.2.2) représente la recette du rabotage. Cette recette dicte la probabilité de chaque extrant en fonction de l’intrant. Pour chaque produit semi-fini entrant au rabotage, une fonction de répartition avec variable aléatoire discrète est utilisée. Lorsque l’usine de rabotage termine le traitement d’un produit entrant, ce dernier est consommé et une variable aléatoire variant entre zéro et un est générée. Cette variable est alors comparée avec la fonction de répartition correspondant à l’entité, et une entité représentant un produit fini est générée pour la remplacer. Le processus dictant la qualité du produit sortant est illustré à la Figure 2.13.



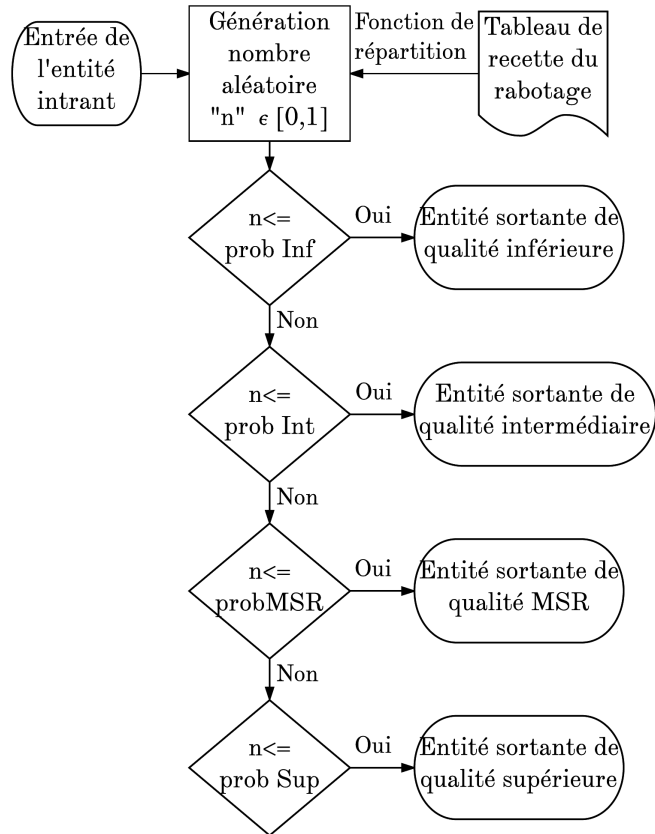


FIGURE 2.13 – Détermination de la qualité des extrants du rabotage.

Une fois qu'un produit fini sort de l'usine de rabotage, la chargeuse assignée à la tâche du déchargement du rabotage doit rapidement prendre le paquet et le déposer dans une zone de stockage tampon située très près de la sortie de l'usine. Il est important de ne pas laisser un produit trop longtemps à la sortie du rabotage car l'absence d'un convoyeur accumulatif fait en sorte que la production serait bloquée si la sortie n'est pas dégagée lorsqu'un nouveau produit doit sortir de la ligne de production. Il existe cinq zones de stockage tampon près de la sortie du rabotage, soit une pour chaque niveau de qualité de produit et une pour les produits qui sont rabotés sans être séchés (verts). La chargeuse accumule les paquets dans ces zones de stockage jusqu'à ce que deux paquets de produits identiques y soient présents. Par la suite, cette chargeuse transporte les deux paquets vers les zones de stockages de produits finis.

La Figure 2.14 résume le processus modélisé pour représenter l'usine de rabotage.

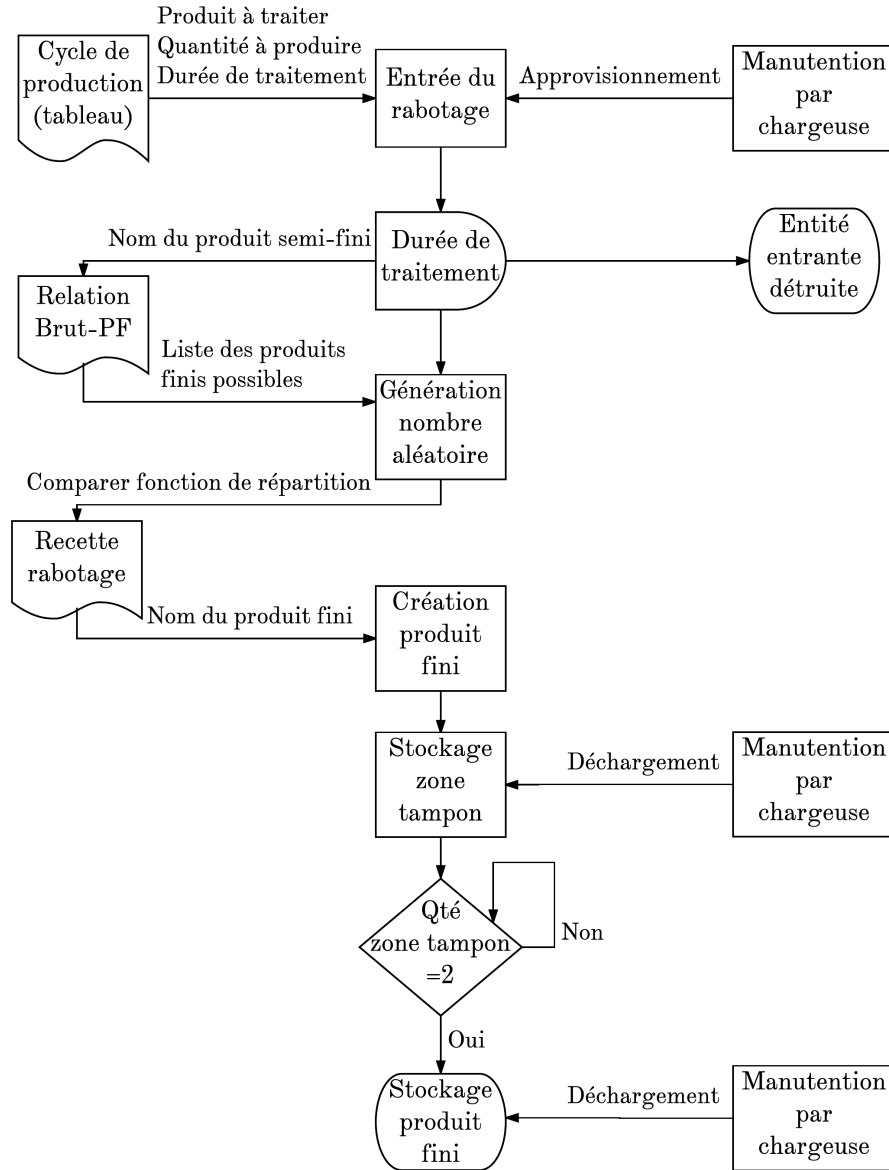


FIGURE 2.14 – Fonctionnement du rabotage.

### 2.8.9 Modélisation de l'expédition

Finally, for what concerns the modeling of the expedition, this latter is divided into two parts. The first part concerns the routing of entities representing the trucks of the expedition. The routing of entities through the seven loading zones has been discussed previously in section 2.8.2. The second part of the modeling of the expedition consists in the loading of the trucks with the help of a loader.

When an expedition truck is generated and approaches the sawmill yard, a complementary process selects the desired truck loading. This loading is selected

selon un tableau contenant l'historique des précédents chargements de camion (voir Annexe C.1.1). Une variable d'état pour chaque type de produit est initialisée et représente la quantité désirée de ce type de produit pour ce chargement de camion. Dès que le camion arrive à une zone de chargement, un processus complémentaire sur SIMIO vérifie les variables d'états représentant les produits stockés dans cette zone spécifique et débloque les zones de stockage de produits finis dont les variables d'états ont des valeurs non-nulles, pour les permettre d'accueillir ces entités. La chargeuse transporte alors les entités jusqu'à ce que la quantité de produits chargés dans la zone de chargement corresponde à la spécification initiale. Lorsque c'est le cas, le camion et la chargeuse se déplacent vers la prochaine zone de chargement spécifiée par la séquence ou, s'il ne reste plus de zones de chargement à visiter, le camion quitte le système.

### 2.8.10 Conditions d'expérimentations

Dans le cadre de cette étude de cas, trois pistes de solutions étaient à évaluer. Un plan factoriel  $2^k$  a été établi pour déterminer les scénarios à comparer. De plus, tout comme pour la cour de bois rond, un effet de saisonnalité non-négligeable devait être pris en compte, cette fois-ci pour les temps de séchage. Pour cette raison, le nombre de facteurs présents dans le plan factoriel est de quatre. Le plan d'expérience est représenté à la Table 2.13.

Les trois pistes de solution évaluées sont les suivantes. Tout d'abord, il a été estimé durant les expérimentations concernant la situation initiale qu'il y aurait un potentiel de combiner la charge de travail de deux chargeuses, soit celles s'occupant du déchargement du rabotage et du chargement des camions d'expédition. Ensuite, une piste de solution pouvant potentiellement réduire la charge de travail de la chargeuse s'occupant du déchargement du rabotage serait de permettre une accumulation plus grande de produits à la sortie de l'usine, annulant ainsi la nécessité d'une double manutention des paquets sortant de l'usine de rabotage. Finalement, dans le but de potentiellement réduire la charge de travail de la machine s'occupant du chargement et déchargement des séchoirs, une piste de solution intéressante serait de manutentionner deux produits par voyage plutôt qu'un seul. Cette solution requerrait cependant l'investissement dans une chargeuse plus puissante, pouvant transporter des charges plus importantes.

TABLE 2.13 – Plan d’expérience factoriel pour la cour de bois scié.

Scénario	Combiner deux chargeuses	Accumulation à la sortie du rabotage	Deux paquets par voyage (séchoirs)	Hiver
1	-	-	-	-
2	-	+	-	-
3	-	-	+	-
4	-	+	+	-
5	+	-	-	-
6	+	+	-	-
7	+	-	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	-	+	-	+
11	-	-	+	+
12	-	+	+	+
13	+	-	-	+
14	+	+	-	+
15	+	-	+	+
16	+	+	+	+

Pour terminer, un nombre de 10 réplifications a été effectué pour chacun des scénarios. Le temps d’exécution de chaque réplification est de quatre semaines, avec une période de réchauffement (*Warm-up Period*) d’une durée de cinq jours.

## Chapitre 3

# Nouveau plan d'aménagement amélioré de la cour de bois rond

Le présent chapitre est rédigé sous forme d'article en langue anglaise, qui pourrait être soumis à un journal scientifique.

L'article présenté utilise la méthodologie de conception de parcs à bois proposée par Hampton [13] pour obtenir un nouveau plan d'aménagement de la cour de bois rond du partenaire industriel. Ce nouveau plan est par la suite comparé à l'aménagement actuel de la cour à bois à l'aide d'un modèle de simulation à événements discrets développé sur SIMIO. L'article contient certains éléments qui ont été décrits au Chapitre 2, notamment une brève description des étapes de la méthodologie utilisée et une description du modèle de simulation. La majeure partie de l'article discute cependant de nouveaux éléments tels que les résultats de chacune des étapes de la méthode suivie, ainsi que la validation du modèle et les résultats des expérimentations faites sur SIMIO.

### 3.1 Résumé

Actuellement au Québec, la stratégie de gestion des cours à bois se fait de manière fortement axée sur l'intuition du gestionnaire. Il est par conséquent difficile d'en effectuer l'amélioration, car la disponibilité des données est un obstacle considérable. De plus, les résultats d'un sondage mené avec 34 industriels forestiers Québécois démontrent qu'un besoin existe pour des outils permettant d'anticiper les effets de diverses solutions sur la dynamique de leurs cours à bois [20].

Le présent projet de recherche s'inscrit précisément dans ce contexte. Le partenaire industriel du projet désire améliorer l'aménagement de sa cour de bois rond dans un contexte où la cadence de production à l'usine de sciage prévoit être augmentée. L'objectif du projet est donc d'assister le partenaire industriel dans l'élaboration d'un nouveau plan d'aménagement et d'en

comparer la performance opérationnelle avec celle de la situation initiale (status quo). Cette comparaison se fait à l'aide de critères de performance définis, qui sont les taux d'utilisation des chargeuses, les distances parcourues par les chargeuses, ainsi que les taux d'utilisation de la station de tronçonnage et de l'usine de sciage.

Dans le cadre de cette étude, une méthodologie de conception de plan d'aménagement de cour à bois a été suivie pour développer un nouveau design. Cette méthode comprend la collecte de données (1), la modélisation (2) et la priorisation (3) des flux, des calculs de besoins en superficie (4), ainsi que l'élaboration de plans préliminaires (5) et l'évaluation (6).

Un modèle de simulation à événements discrets a été développé et validé pour l'évaluation de ces plans. Le nouveau plan d'aménagement permet de réduire d'environ 133km (75%) la distance parcourue par des chargeuses de la flotte.

## 3.2 Discrete-Event Simulation to Evaluate Log Yard Design Planning

Sébastien V. Robichaud, Daniel Beaudoin and Luc LeBel

*FORAC and Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique, Université Laval, Québec, QC, Canada*

sebastien.vachon-robichaud.1@ulaval.ca, daniel.beaudoin@sbf.ulaval.ca, luc.lebel@sbf.ulaval.ca

### Abstract

Sawmills are subject to frequent adjustments in the processing technology. Changes concerning equipment, products to be delivered or raw material characteristics are likely to affect the operation of the log yard. Moreover, since the log yard's operation and design was led by the managers' intuitions, they were unable to foresee potential problems with the initial log yard layout. We have then been asked by our industrial partner for assistance in providing a new log yard design which would improve the sawmill's supply in raw materials, while also minimizing workload on the handling equipment. This proposed layout was to be compared with the initial layout on the following criterias : loaders' weekly distance traveled (km/week) and utilization rates (%), as well as ensuring the sawmill and slashing station run at full capacity. In this study, we used Hampton's log yard design methodology to generate a new log yard layout. This approach includes data collection, material flow modelling, prioritization of flow relationships, calculations of space requirements, development of preliminary plans and their evaluation. To carry out the evaluation process, we developed Discrete-event simulation (DES) models to measure and compare two layouts. Results showed that following the methodology, it is possible to reduce one loader's weekly distance travelled by around 133 kilometers. In addition, the simulation model made it possible to quantify the effects of seasonal variability of the inflow of trucks on the loaders' weekly distances travelled and utilization rates.

**Keywords** : log yard design ; log yard performance ; discrete-event simulation

### 3.2.1 Introduction

Log yards are an important link in the forest products chain. They are also unavoidable if a mill is to be efficiently supplied with raw materials (Myers and Richards 2003). Since log yards layout and operation are designed specifically for ensuring a steady supply of logs to a sawmill, it makes sense to reassess a log yard when significant changes are brought to a sawmill. Our industrial partner is working on modernizing their mill located in Saint-Pamphile, QC, Canada. This modernization project will substantially increase the mill's consumption rate, thus directly increasing the activity level in the yard, as well as the total volume handled annually. If the sawmill is to be operated steadily and without raw material shortages, the log yard layout needs to be revised.

Most wood yards are managed mainly through intuition and managers' experience, and improvements, if any, are carried out incrementally and empirically. It is therefore difficult to measure the operational performance of a log yard, considering little relevant data may have been collected. In a study covering 34 companies which operate sawmills in Quebec, only 66% of respondents believe their log yard's performance to be satisfactory (Trzcianowska et al. 2017). A small percentage (5%) of respondents even admitted to not using any performance indicators to measure their log yard's operation.

The project's main objective is to assist the industrial partner by providing a new log yard layout and comparing it with their initial layout. The criterias to be compared are directly related to the industrial partner's requirements : loaders' weekly distance traveled and utilization rates, as well as maintaining full-capacity utilization of the sawmill and slashing station. Finally, the variation of handling capacity requirements over the peak and low periods of the year (due to seasonal variability) must be observed to evaluate handling equipment needs over time.

In order to fulfill that objective, a layout is built by following a log yard design methodology formalized by Hampton (Hampton 1981). The resulting layout is then compared with the current layout through experiments with discrete-event simulation models. Both layouts are compared for the seasons where handling equipment capacity requirements are at their peak and at their lowest throughout the year.

### **3.2.2 Literature**

In the forest industry, a lot of research has been carried out concerning the improvement of supply chain networks through operational research (D'Amours et al. 2008, Gautam et al. 2013).

Simulation modeling has been used to analyze interactions within systems both in supply chain links before and after log yards. For example, harvesting operations have been studied comprehensively (Chiorescu 2001, Myers and Richards 2003, Wang et al. 2005). Sawmill operations have also been modeled and analyzed through the use of simulation models (Dogan et al. 1997, Salichon 2005, Zanjani et al. 2011). However, in most studies where wood yards are investigated, they are characterized as a buffer in-between other processes, by a randomly fluctuating inventory of wood (LeBel and Carruth 1997, Shahi and Pulkki 2015). In other words, the different log yard design and operation problems are not examined.

Some log yard (Hampton 1981, Sinclair et al. 1984) design methodologies are already present in literature. Sinclair's methodology is mostly focused on log sorting yards, and provides specific details related to this kind of log yard. Hampton, however, provides more general guidelines on how to design a log yard layout. This study mainly follows Hampton's methodology, which consists of six steps, starting with (1) data collection. Then, a material flow model (2) and a



flow relationship diagram (3) are built. Next, the required space for each activity is calculated (4) and preliminary plans are developed (5). Finally, the preliminary plans are evaluated (6).

The comparisons between the two layouts take into account key performance indicators selected by the industrial partner. However, a sufficient volume of research regarding log yard performance indicators has been achieved in the past (Dramm et al. 2004, Dramm et al. 2002).

Some studies were carried out using discrete-event simulation to provide a better understanding of log yards (Beaudoin et al. 2012, Rahman et al. 2014). However, these studies tackled operating rules within the yards, rather than comparing different yard layouts.

### 3.2.3 Methods

The preliminary plan obtained from using Hampton's method is compared with the current layout of the log yard (status quo) for two periods with varying demand in handling capacity. For each plan, performance indicators for the winter (high demand) and spring (low demand) periods are measured. This variation in demand is caused by transport curtailment during thawing season, therefore reducing the inflow rate of raw materials during the spring season. A resulting number of 4 scenarios are then evaluated using simulation modeling.

#### Data collection

This first step consisted in collecting the following data on raw materials, material flow and handling equipment.

1. Raw material categorization (three raw material categories determined during this study) based on :
  - a) Raw material dimensions and logistical constraints (e.g. large logs)
  - b) Presence of additional processing required prior to sawmill supply (e.g. cut-to-length vs. tree-length logs)
2. Material flow data :
  - a) Raw material supply
    - Inter-arrival rates of supply trucks per raw material category
    - Transported volume per supply truck per raw material category
    - Presence of seasonality behavior in supply truck arrivals
  - b) Logistical processes within the log yard (yard activities)
    - List of all log yard activities
    - Input-Output relationship between all activities (where such a relationship is present)
    - Identification of particular activities specific to some raw material categories

- Processing time distributions for each of the log yard activities (which might depend on the raw material category and/or on the handling equipment used)
  - Process schedule/timetable (for determining resource availability)
3. Handling equipment data (for each handling equipment within the log yard) :
- a) Handling equipment type
    - Front-end loader
    - Stationary log loader
    - Log stacker
    - Truck-mounted loader
    - etc.
  - b) Loaded and unloaded traveling speeds
  - c) Main and secondary handling activities (unloading supply trucks and/or supplying sawmill with raw materials)
  - d) Loading and unloading times (could be two different time values if the handling equipment does both handling activities listed above)
  - e) Loader schedule/timetable

Raw material categorization was established based on two main factors. The first factor that was relevant during categorization refers to the relationship between raw material dimensions and their resulting logistical constraints. For example, logs with a diameter larger than 17 inches were considered to be a different raw material category, called "large logs" (LL). This is caused by the fact that the debarker at the sawmill's entry point cannot process logs with such a diameter. This category of raw materials must be processed at a different mill entrance. The second relevant factor in raw material categorization is the presence of additional processing required within the log yard, prior to sawmill supply. In the case of this study, a distinction was made between tree-length (TL) logs and cut-to-length (CTL) logs. The reasoning is that tree-length logs must be processed at the slashing station prior to be handled to the sawmill entrance.

Data collection related to material flow is divided into two main categories, the first one being raw material supply and the second one being yard activities. Raw material supply data were gathered through historical databases (inflow of volume through truck arrivals at the scaling station), and through interviews with the yard managers. Time for each yard activity was also obtained from yard managers, as well as from some time-and-motion studies.

Furthermore, information regarding loaders' movement speeds and volume carried per trip was obtained from Tran (2008), who carried out a study on the handling equipment of the investigated yard. All handling equipment data listed previously, except for loader schedules and timetables which were obtained from interviews with yard managers, was obtained from this study.

## Material Flow Model and Flow Relationships

Once data has been collected, a material flow model was constructed. This technique used for building the material flow model is similar to Visual Stream Mapping (VSM) in nature (Abdulmalek and Rajgopal 2007, Irani and Zhou 2011). However, in comparison to VSM, this material flow model may take into consideration a multitude of different products, each having their specific process pathway. The material flow model consists of an activity-on-node version of a network diagram of the yard, where each log yard activity is represented by a node. Each arc represents the input-output relationship between yard activities. The direction of the arrow in an arc represents the direction of the raw material flow throughout the yard activities. The varying thicknesses of the arcs are a visual representation of the relative importance in volume of each interaction between activities. Each arc of the flow is attributed a value, which is the percentage of the total volume.

Figure 3.1 shows the material flow model developed for the yard. The different line types represent the two main raw material categories which are handled and stored in the yard, with solid lines being cut-to-length (CTL) logs, and dashed lines being tree-length (TL) logs. The third and final raw material category, large logs (LL), only appears near the end of the material flow mapping, as they are sorted out from the CTL log category prior to being supplied to the mill. The log yard possesses two entrances for logging trucks. The first one is the public road network (“public road”), while the second one is an unpaved dirt-road allowing direct delivery from the forest to the yard (“private road”). There are also two entrances to the mill itself, one for cut-to-length logs (CTL Entry), and one for large logs (LL Entry).

Logistical activities are conducted within the log yard. Each and every truck entering the yard from the public entrance must be weighed at the scale (41.8% of total annual volume). Then, it might be required that some trucks’ contents be measured or tested. Testing consists of emptying a full truckload in the measuring area and carrying out a piece-by-piece volume measurement of each log. Two percent of the total annual volume consumed at the sawmill must be tested. Testing is required as prescribed by the Quebec Ministry of Forestry. The measuring activity is very similar in nature. However, instead of unloading a full truckload, only a sample of a dozen logs is measured. This yard activity is driven by internal specifications to keep track of procurement rates as agreed with certain suppliers.

In terms of material flow, the four main paths followed by the raw materials depend on both the entrance (public or private) from which trucks have entered, and the raw material category (TL vs CTL). The main difference in material flow relative to the entrance is related to the weighting (at the scale) and measuring activities. While all trucks coming from the public entrance are weighed and most of them have a sample of their transported load measured, trucks coming from the private entrance only need to be weighed on-site for tests prescribed by the Department of Energy and Natural Resources. This is due to the fact that they are weighed

at a neighboring yard prior to entering the site. Raw material category affects material flow for the simple reason that all tree-length (TL) logs must be slashed prior to being processed in the sawmill, while cut-to-length (CTL) logs do not require such activity, as they arrived already-cut.

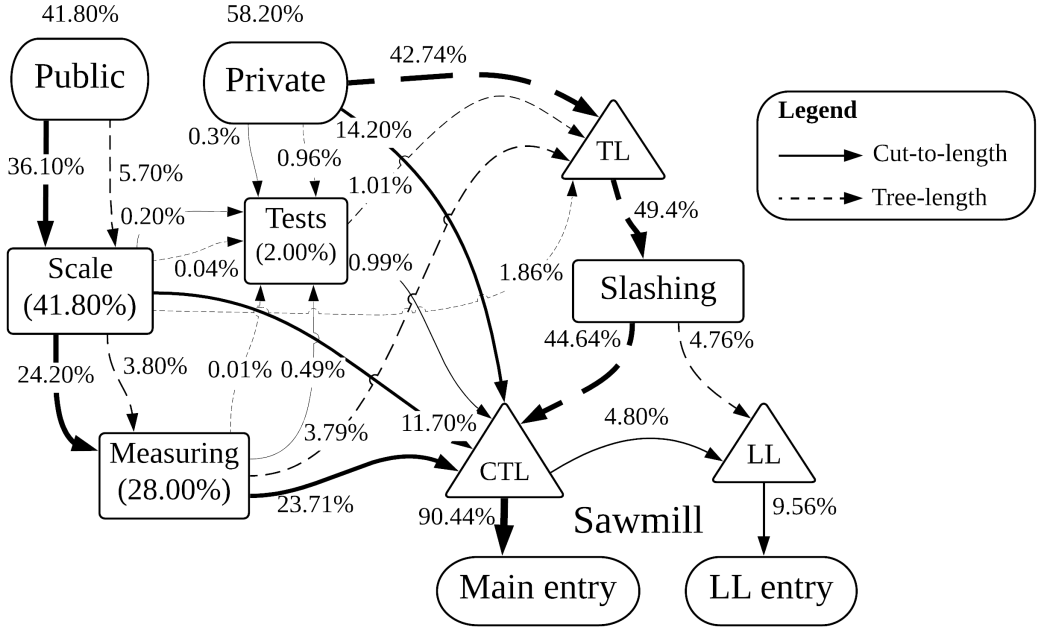


FIGURE 3.1 – Material flow model.

The total volume of flow will change between seasons (winter vs. summer), but not the flow proportions. For this reason, only one material flow model was required for the study.

Building the material flow model is a critical step in the overall layout design methodology for multiple reasons. For example, the relative weight of any given arc in the network represents the relative importance of this flow, which helps in establishing flow relationship priorities. It also suggests the frequency of use between activities in the log yard. As a result, the desirable closeness between departments may be determined. Table 3.1 shows resulting prioritization of flow relationships based on the material flow model.

TABLE 3.1 – Flow Relationships in decreasing order of weight

Flow Weight	InputNode	OutputNode	Raw Material Category
90.44%	CTL Storage	CTL Sawmill entry	CTL
49.40%	TL Storage	Slashing	TL
44.64%	Slashing	CTL Storage	TL
42.74%	Private Entrance	TL Storage	TL
36.10%	Public Entrance	Scale	CTL
24.20%	Scale	Measuring	CTL
23.71%	Measuring	CTL Storage	CTL
14.20%	Private Entrance	CTL Storage	CTL
11.70%	Scale	CTL Storage	CTL
9.56%	LL Storage	LL Sawmill entry	LL
5.70%	Public Entrance	Scale	TL
4.80%	CTL Storage	LL Storage	CTL
4.76%	Slashing	LL Storage	TL
3.80%	Scale	Measuring	TL
3.79%	Measuring	TL Storage	TL
1.86%	Scale	TL Storage	TL
1.01%	Tests	TL Storage	TL
0.99%	Tests	CTL Storage	CTL
0.96%	Private Entrance	Tests	TL
0.49%	Measuring	Tests	CTL
0.30%	Private Entrance	Tests	CTL
0.20%	Scale	Tests	CTL
0.04%	Scale	Tests	TL
0.01%	Measuring	Tests	TL

### Determination of area requirements

The last step required before starting the development of the preliminary plans is to determine the space requirements for each activity. Some processes, such as the scaling and slashing stations, have fixed dimensions and thus result in specified area requirements. Other activities however, such as measuring, testing and the stockpiling of raw materials, are more flexible in how they can be organised. Area requirements for these activities may be calculated by looking through historical databases and determining the total amount of tests and measurements that could happen simultaneously. A yard manager may decide to allocate enough area for a specific amount of simultaneous tests even if it is not the maximum observed amount, by accepting the trade-off that some trucks may have to wait in a queue for load measuring.

The area requirements in raw material stockpiling might vary due to various factors such as specified stockpile heights and seasonal variability. In order to determine space requirements for the stockpiling processes, a portion of the total available space was dedicated to each category of raw materials, based on its proportion of the total volume. For example, if one

raw material category consists of 50% of the total volume consumed, then 50% of the available space is dedicated to this category. This method was used, due to the fact that there was more area available than necessary for stockpiling.

Once each raw material category is dedicated to a volume capacity relative to the annual consumption, the resulting volumes were compared to the highest observed inventory levels that have been recorded by the industrial partner. For each raw material category where the highest observed inventory level exceeds the previously allocated volume, the storage capacity is adjusted and becomes the highest recorded inventory level, and the volume that was added is subtracted from other raw material categories for which the highest observed inventory level does not exceed the allocated volume.

The resulting storage capacity for each type of raw material is as shown in Table 3.2, considering a total storage capacity of approximately 125,000 cubic meters, as indicated by the yard managers. The "highest observed inventory" column specifies the highest inventory level observed in the past 18 months at the time of the study.

TABLE 3.2 – Storage capacity per raw material type.

<b>Raw material type</b>	<b>Proportion of annual volume (%)</b>	<b>Proportional storage capacity (<math>m^3</math>)</b>	<b>Highest observed inventory (<math>m^3</math>)</b>	<b>Adjusted storage capacity (<math>m^3</math>)</b>
CTL	50.3	62,875	58,750	60,750
TL	49.3	61,625	63,750	63,750
LL	0.4	500	468	500

Based on these storage capacity requirements in cubic meters, it was estimated by the yard managers that an area of approximately 40,000 squared meters would be required for TL logs, while an area of approximately 30,000 squared meters would be required for CTL logs. These are requirements that take into consideration the required width of alleys for the handling machinery to move around the yard.

**Development of preliminary plans**

Figure 3.2 illustrates the initial layout of the log yard (status quo layout). Figures 3.3 through 3.6 show how the preliminary plan was obtained by following the methodology. The initial layout contains a storage area of approximately 41,800 squared meters for TL logs, as well as approximately 30,900 squared meters to use for CTL logs. The initial layout therefore has enough capacity for the yard’s needs in terms of storage area.



FIGURE 3.2 – Initial layout.

When building preliminary plans, it is important to first consider the layout constraints (available space, activities that are too difficult or costly to move around, and so forth). The layout constraints included in this layout design are the following :

- Public truck entrance to the West
- Private truck entrance to the East
- CTL sawmill entry to the East
- LL sawmill entry to the West
- Noise-cancelling walls (only if the slashing station is located to the West)
- The yard's storage boundaries must be the same as the initial layout (no expansion allowed)
- No storage of logs in the current 'truck waiting area' zone (due to fire hazard)

Once layout constraints are included in the first draft of the preliminary plans, the different activities can be added to the layout in decreasing order of priority (which is determined by going down the elements of the list in Table 3.1). Figures 3.3 through 3.6 illustrate the main steps of this process, as well as the resulting layout. The first-priority element in the list of flow relationships is the CTL stockpile being close to the CTL sawmill entry.

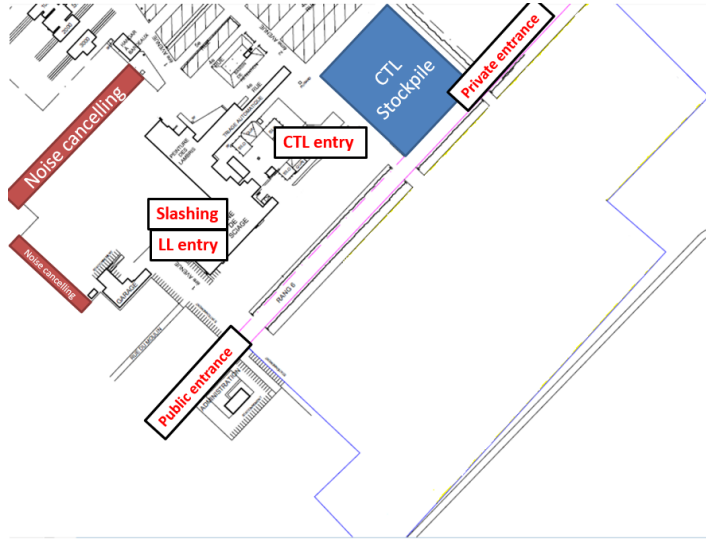


FIGURE 3.3 – Methodology Layout - TL Stockpile close to Private Entrance and Slashing Station

The following step, illustrated in Figure 3.4, includes the next three elements of the priority list. The TL storage area, the slashing station, CTL storage and Private entrance have very desirable proximity. Note that noise cancelling walls are no longer required. This is due to the fact that the relevant layout constraint is deactivated once the slashing station is relocated to the eastern area of the yard.

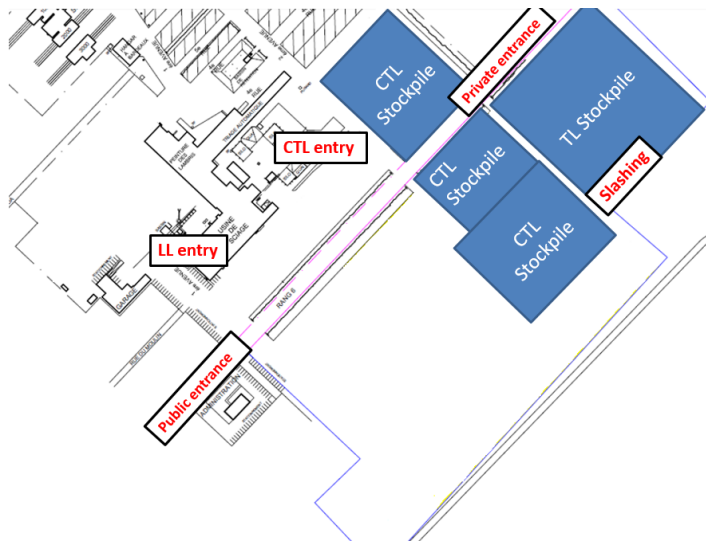


FIGURE 3.4 – Methodology Layout - CTL stockpile close to Slashing and CTL sawmill entry

Figure 3.5 illustrates the results after adding the new batch of elements in the priority list, which are related to the weighting scale, as well as the measuring and testing areas. Note that an area dedicated for truck undocking was added to the West of the measuring area.



Moreover, a truck waiting queue is located between the weighting scale and the sawmill, since no log storage was allowed in this area.



FIGURE 3.5 – Methodology Layout - Measuring/Testing areas close to Scale and CTL Stockpiles

Since the current layout has no LL storage capacity yet, and the TL stockpiling area does not yet meet the yard’s needs of 40,000 squared meters, a final step consisting of adding these elements to the layout is applied, as illustrated in Figure 3.6.



FIGURE 3.6 – Methodology Layout - Final

Many preliminary plans were developed during the study. However, the industrial partner concluded that these two preliminary plans were the most promising. The main difference

between the two preliminary plans is the location of the slashing station. Indeed, since most of the incoming TL volume is delivered through the private entrance, locating the slashing station near it makes sense in terms of flow management. This improvement in flow for the TL raw material type is illustrated in the flow comparison in Figure 3.7.

In addition, the need for noise-cancelling walls in the north western part of the site would be removed. This noise-cancelling wall would have been needed because the site is located close to a residential area, and the slashing station produces a considerable amount of noise.

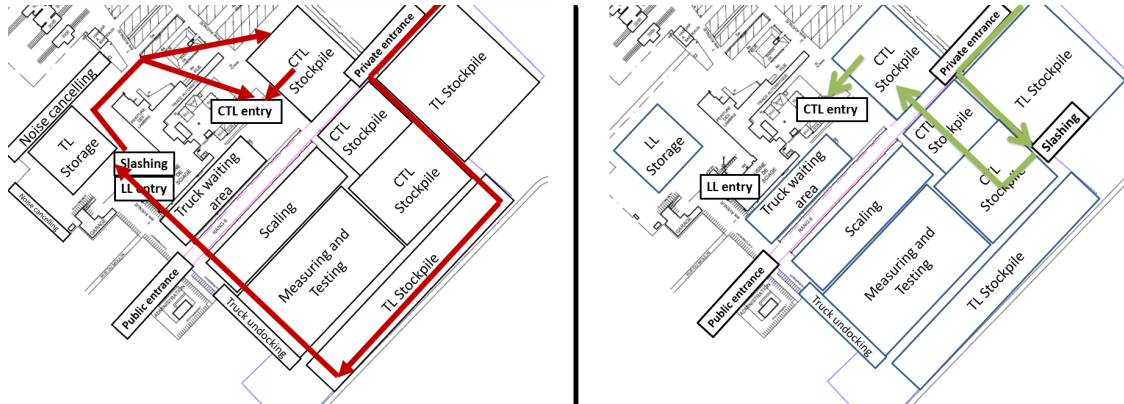


FIGURE 3.7 – Flow comparison between initial layout (left) and methodology layout (right) for TL raw material category

### Evaluation through simulations

Once the preliminary plans have been developed, Hampton’s methodology suggests their performance should be compared to one another. We used discrete-event simulation modeling to do so. It is an adequate tool for evaluating the global performance in a log yard, since it takes into consideration time-sensitive and dynamic changes within the system. Provided that all evaluated preliminary plans in this study were considered safe and with effective supervision, they were evaluated in consideration of these key performance indicators (KPIs).

1. Loader utilization rates (percentage of scheduled capacity)
2. Loader distances travelled (kilometres per week)
3. Sawmill and slashing station utilization rates (no shortage). This criteria is the reason why some loaders may have a utilization rate over 100%, as these processes need to be maintained at full capacity.

Finally, in order to ensure handling and storage capacities are well aligned with actual required workloads, as well as to better understand the dynamics caused by seasonal variability, each preliminary plan was evaluated for its peak season (January to March) and low season (April to June), where inflow of delivery trucks vary significantly. Evaluating performance

for both periods allows to avoid overcapacity if a layout was to be designed only for peak season and undercapacity if layouts were to be designed only for low season. The more comprehensive evaluation provided by running simulations for both periods allows for more fitting compromises to be made if needed.

### 3.2.4 Simulation model

#### Input data

*Preliminary data.* Preliminary data consists in better understanding the general aspects of the studied log yard, such as the log yard layout, the material flow model, as well as data related to the loaders' operating logics. Figure 3.8 illustrates the delivery truck flow from arriving in the log yard until leaving. The main factor that dictates the flow of logging trucks is which entrance it came from. If the truck comes from the public entrance, then it has to be weighed at the site's scale twice (to weigh the net transported mass). Alternatively, the truck is directly unloaded in its assigned stockpile. All trucks from both entrances are treated in a single first-in-first-out (FIFO) queue.

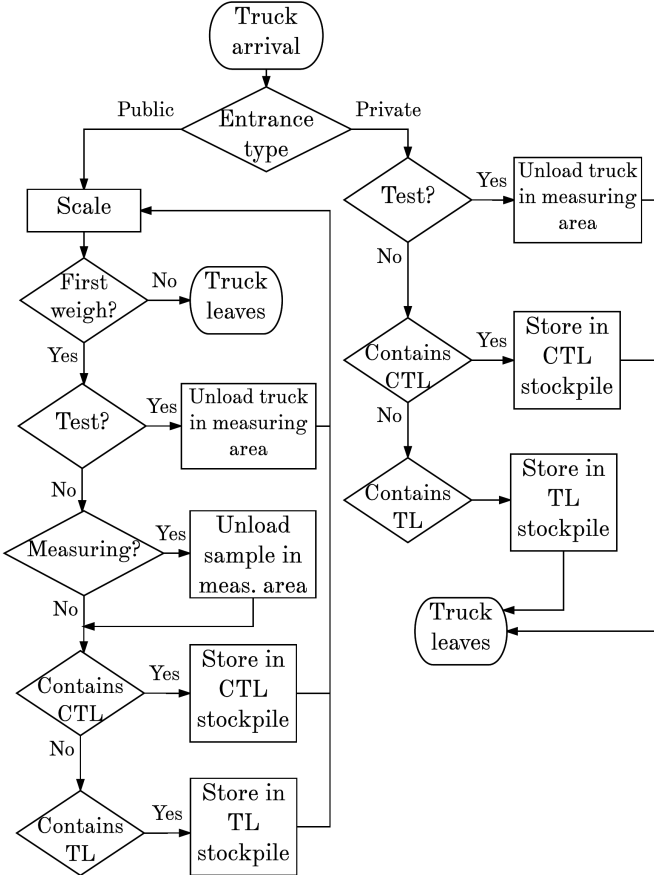


FIGURE 3.8 – Flow diagram for delivery trucks.

The studied log yard is operated using four loaders, which have dedicated tasks as described in Table 3.3.

TABLE 3.3 – Loader types and task assignments.

Loader	Loader type	Tasks			
		Unload trucks	Supply sawmill	Supply slasher	Empty slasher
Volvo L150	<i>Front-end</i>		X		
Tanguay LL228	<i>Grapple</i>	X			
Tanguay WL430	<i>Grapple</i>	X			
Prentice 610	<i>Truck-mounted</i>		X	X	X

As shown in Figure 3.9, the Tanguay LL228 and Tanguay WL430 loaders have as their main task to unload incoming trucks in a single, shared FIFO queue. This FIFO queue includes trucks containing either CTL or TL logs, indiscriminately. Some trucks may or may not require to be tested or measured prior to being unloaded in the relevant stockpile.

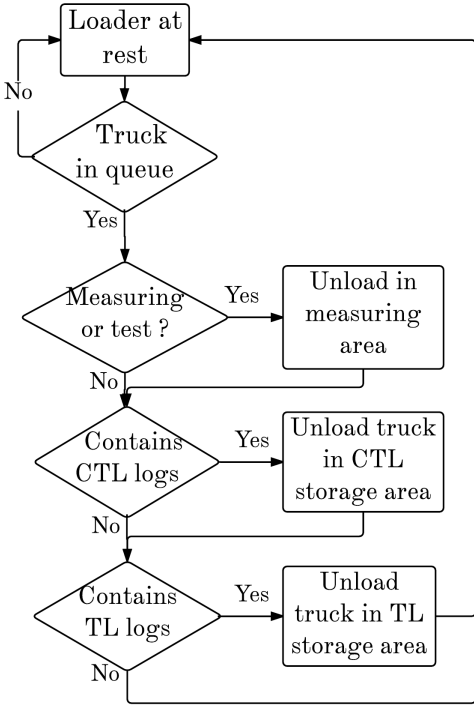


FIGURE 3.9 – Flow diagram for Tanguay loaders.

The Volvo L150 loader’s main task is to supply the mill with logs. However, it is also used to empty the mill’s primary entrance of large logs that stack up by being rejected by the entrance due to their size. This relatively simple operating logic is illustrated in Figure 3.10.

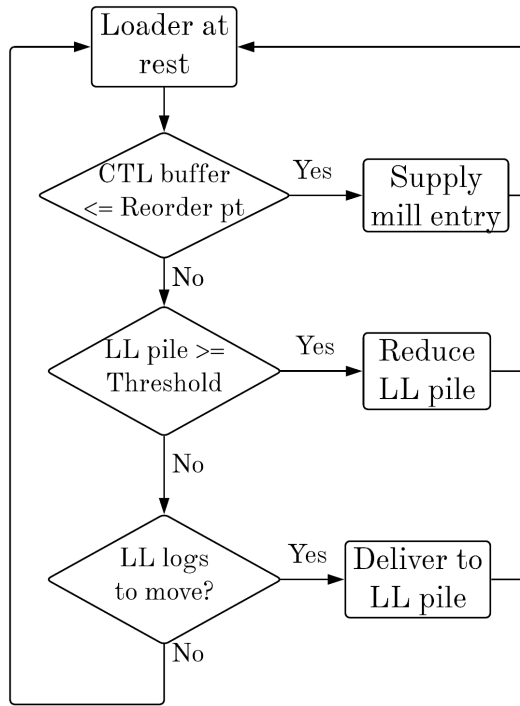


FIGURE 3.10 – Flow diagram for the Volvo loader.

Finally, the truck-mounted loader’s (Prentice 610) first priority is to supply the slashing station in tree-length wood, while also emptying the resulting cut-to-length wood stock. However, as shown in Figure 3.11, when the mill’s input buffer hits the reorder point, the truck-mounted loader should carry the available logs to the mill.

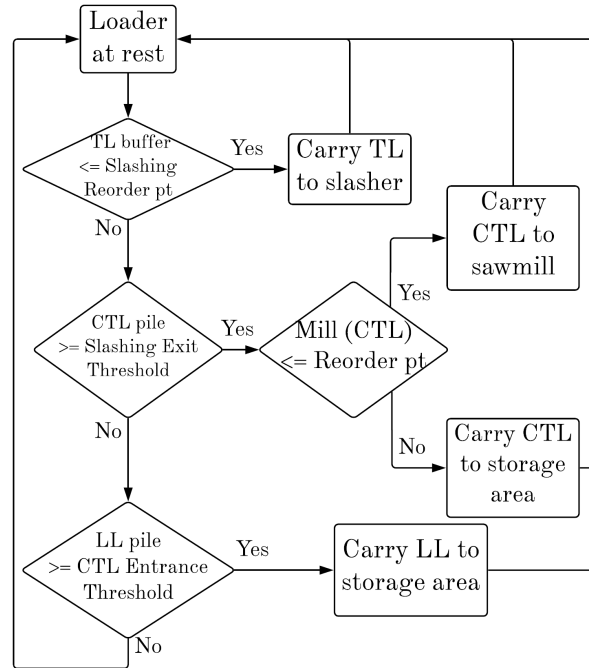


FIGURE 3.11 – Flow diagram for the Prentice loader.

**Model realization data.** Once the general processes and operating logic are well understood, a more detailed level of data is required to build the simulation model. This section describes the simulation model’s input data.

*Inter-arrival time of trucks.* Delivery truck inter-arrival times are described by a Poisson process with averages varying upon both the hour of the day, and day of the week. Since every truck arriving at the yard has their information entered in the weighting scale database, arrival rates were calculated by measuring the arrival time stamps stored in this database. Time stamps were categorized by truck type (as seen in Table 3.4) and divided into one-hour intervals. The expected value and variance of each truck type and time interval combination are described by the average number of arrivals within each one-hour interval that was registered in the scale database.

Figure 3.12 and Figure 3.13 show the varying inter-arrival rates for the delivery trucks as a whole, grouped by yard entrance (private and public). Since the hourly inter-arrival rates vary for each day of the week, the example shown in Figure 3.13 illustrates the modeled behavior for Tuesday only.

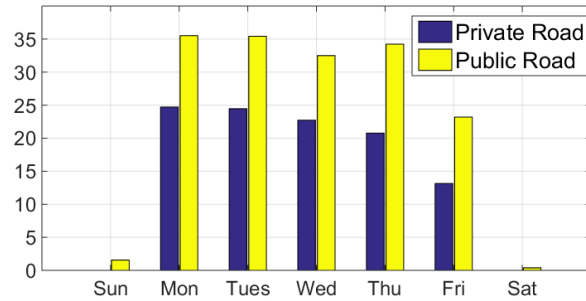


FIGURE 3.12 – Average daily truck arrivals per day of the week.

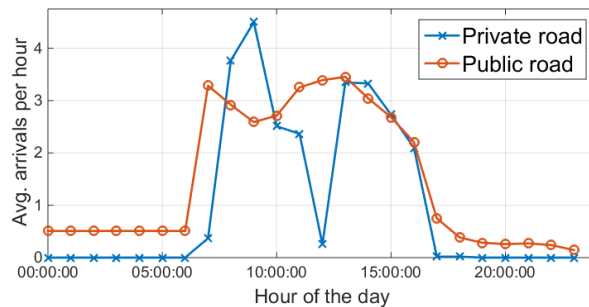


FIGURE 3.13 – Average hourly inter-arrival rates per hour of the day (Tuesday).

*Load characteristics - Raw material categories and volumes.* Since only weight data was acquired through the scale database, a conversion factor of  $796 \text{ kg/m}^3$  based on the US Department of Agriculture’s data for spruce pine density was used (Miles and Smith 2009). Table 3.4 summarizes the average transported volumes per type of delivery truck, which was obtained as a result of mass-volume conversions on the scale database data. Truck types were defined exactly as they were categorized in the scale database beforehand. Once one of these trucks is unloaded in the yard, the state variables describing the current inventory levels in the simulation model are systematically incremented by these average volumes.

*Unloading time of logging trucks.* For each of the two raw material categories being transported by logging trucks, a random distribution is used to express the duration of the process of unloading the logging truck. Table 3.5 shows the random distributions used for the truck unloading time expressions. These random distributions were obtained by extrapolating processing time results from a previous time study that was performed in this yard (Tran, 2008). This study was carried out for a typical 42 cubic meters CTL truck, for which the unloading time follows a triangular distribution ranging between 11 to 15 minutes with a most frequent unloading time of 12.5 minutes. These time distributions take into account the varying load by truck type.

No unloading time expression exists for large logs, as they are sorted out of CTL and TL

TABLE 3.4 – Average volume transported per truck type.

<b>Truck type</b>	<b>Avg. vol. (<math>m^3</math>)</b>	<b>Raw material category</b>
Private_TL	75.37	TL
Private_CTL	69.17	CTL
Public_TL	40.60	TL
Public_CTL	36.40	CTL
Public_8ft	11.60	CTL
Public_9ft	26.97	CTL
Public_10ft	10.08	CTL
Public_89ft	15.94	CTL
Public_Plp	12.50	CTL

trucks and from the mill’s main entrance.

TABLE 3.5 – Random distributions expressing unloading times of logging trucks.

<b>Truck type</b>	<b>Processing time expression (min)</b>
Private_TL	Random.Triangular(13.59,16.28,20.77)
Private_CTL	Random.Triangular(11.65,14.12,18.23)
Public_TL	Random.Triangular(11.93,13.38,15.8)
Public_CTL	Random.Triangular(10.87,12.17,14.33)
Public_8ft	Random.Triangular(10.28,10.69,11.38)
Public_9ft	Random.Triangular(10.64,11.6,13.21)
Public_10ft	Random.Triangular(10.24,10.6,11.2)
Public_89ft	Random.Triangular(10.38,10.95,11.89)
Public_Plp	Random.Triangular(10.29,10.74,11.49)

*Loader handling properties.* Each of the four handling machines used in the log yard carries a different average volume of wood per trip. The duration of loading and unloading their carried volume varies as well. Table 3.6 summarizes these particular loader properties. This data was provided from a previous FERIC study (Tran 2008). The Prentice 610 loader carries an average volume depending on whether CTL ( $20.0 m^3$ ) or TL ( $30.0 m^3$ ) logs are being handled. The two Tanguay loaders, however, are assumed to carry  $22.7 m^3$  of wood for both CTL and TL logs, as no distinction was specified in the FERIC study.

Table 3.7 summarizes loader and processes schedules. Time slots which are checked mean that the concerned resource is available for that period.

*Sawmill and slashing properties.* The studied sawmill has a volume consumption rate of 125.0 cubic meters per hour. In the material flow model, it has been determined that the slashing station provides 49.3% of the consumed volume to the mill. For this reason, an estimated consumption rate of 61.6 cubic meters per hour was implemented in the simulation model.



TABLE 3.6 – Loading/unloading times and average carried volume per trip.

Loader	Loading time (min)	Unloading time (min)	Carried CTL vol. ( $m^3$ )	Carried TL vol. ( $m^3$ )
Volvo L150	0.4	0.2	8.9	0.0
Tanguay LL228	7.9	11.4	22.7	22.7
Tanguay WL430	7.8	5.8	22.7	22.7
Prentice 610	7.6	6.4	20.0	30.0

TABLE 3.7 – Daily schedule for loaders and processes.

Time slot	Sawmill Volvo L150	Slashing station Prentice 610	Tanguay LL228	Tanguay WL430
00 :00 - 07 :00				
07 :00 - 12 :00	X	X	X	X
12 :00 - 13 :00				
13 :00 - 15 :00	X	X	X	X
15 :00 - 16 :00			X	X
16 :00 - 17 :30	X	X	X	X
17 :30 - 18 :00	X	X		X
18 :00 - 00 :00	X	X		

Table 3.8 summarizes the consumption (inflow) rates, as well as the storage capacity for the raw material input and the reorder points that trigger a request to the loaders.

TABLE 3.8 – Consumption rates and reorder points for the mill and slashing station.

Process	Inflow rate ( $m^3/h$ )	Storage capacity ( $m^3$ )	Reorder point ( $m^3$ )
Sawmill	125.0	80.0	20.0
Slashing	61.6	100.0	50.0

*Loader travelling speeds.* Each loader within the log yard travels at different speeds, which also varies depending on whether the loader is loaded or not. Table 3.9 illustrates the loaded and unloaded speeds of each loader in the wood yard. This data was also provided from a past study about loader efficiency within the same log yard (Tran 2008).

### Run conditions

A total of 4 scenarios were evaluated in this study. Each log yard layout was evaluated for the summer (low) and winter (peak) periods, due to seasonal variability. This was carried out in order to allow the yard managers to make a clearer assessment of their material handling needs. Knowing utilization rates for peak and low demand periods, yard managers are enabled

TABLE 3.9 – Loader speeds (loaded and unloaded).

<b>Loader</b>	<b>Loaded speed (km/h)</b>	<b>Unloaded speed (km/h)</b>
Volvo L150	20.1	30.5
Tanguay LL228	4.0	4.1
Tanguay WL430	5.2	5.6
Prentice 610	5.1	7.0

to make a suitable compromise in order to determine a robust solution that is satisfactory throughout the entire year.

As a reminder, the first evaluated layout is the initial layout. The second layout consists in the preliminary plan obtained by applying Hampton’s log yard design methodology, which resulted in moving the slashing station according to the material flow model considerations. The evaluated scenarios are as described in the following Table 3.10.

TABLE 3.10 – Summary of evaluated scenarios.

<b>Scenario type</b>	<b>Scenario number</b>	<b>Season</b>	<b>Demand in capacity</b>	<b>Slashing station moved</b>
Initial layout	1	Winter	High	
	2	Summer	Low	
New design	3	Winter	High	X
	4	Summer	Low	X

A number of 50 replications for each scenario were carried out. Each scenario has a simulation runtime of a week, with a warm-up period of one day. This warm-up period duration was selected to ensure the simulated system is running in steady-state prior to collecting statistics. Steady-state, in this case, means that the input and output buffers for each station are not necessarily empty at the start of each run. In other words, the presence of work-in-progress must be allowed.

### Model verification and validation

The process of verifying and validating the simulation models is one of the most important tasks in developing a model (Banks et al. 2010). The first step is to verify if operating rules, task priorities, available loader pathways, and work schedules are built according to the industrial partner’s specifications. This is accomplished by enabling the yard and sawmill managing team to look at on-screen animations of the running simulation model (screenshots illustrated in Figure 3.14) and pointing out potential issues with the model.

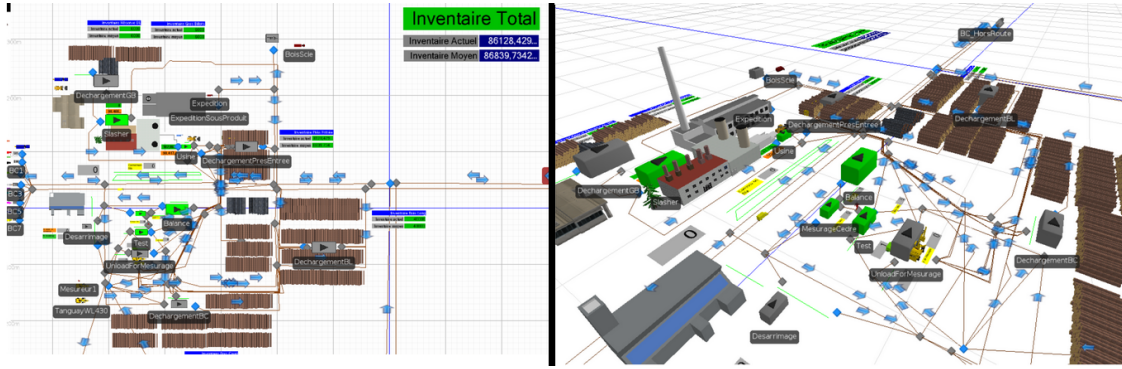


FIGURE 3.14 – Initial layout simulation model - top-down view (left) and 3D view (right)

The validation process consists in comparing simulation results with historical data to assess its closeness to reality. Therefore, the simulation model was compared to historical data obtained from the scale’s database. First, the weekly amount of measurements (1) and tests (2) were validated. Also, the weekly truck arrivals from public (3) and private (4) roads were compared to historical data to confirm the model’s accuracy. Statistical comparisons used to validate the model consist of two-sample T-tests between historical data and simulation model results. We conclude that there is no statistical difference between the two samples if these two conditions are met :

- Zero is included in the 95% confidence interval for difference
- The P-value is higher than 0.05

For the purpose of the model verification, 50 replications of the initial layout’s simulation model were executed. The results from these replications were compared with the 17 months of available weekly historical data (filtered by peak seasons and low seasons for significance) prior to the sawmill modernization project.

The boxplots of Figure 3.15 and Figure 3.16 compare historical and the initial layout simulation model data on weekly amounts of measurements. Statistical tests suggest there is no significant difference between the model and historical data for peak-demand and low-demand periods. Table 3.11 summarizes the model validation process for weekly measurements.

TABLE 3.11 – Summary of model validation for measurements.

Period	Exp.	Obs.	Mean	SD	95% CI for difference	P-val.
Peak	X		103.10	20.90	(-1.22, 18.63)	0.083
		X	94.40	10.90		
Low	X		84.90	20.60	(-18.56, 1.38)	0.088
		X	93.46	9.66		

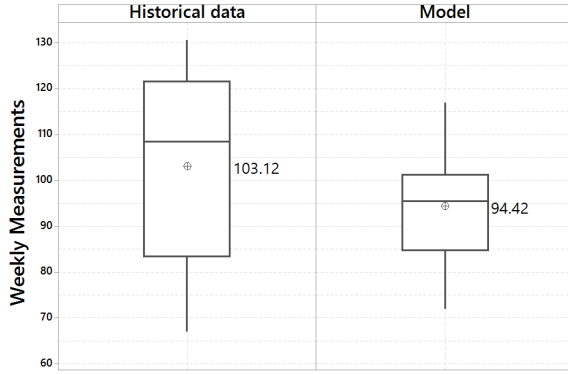


FIGURE 3.15 – Expected vs observed measurements (Peak).

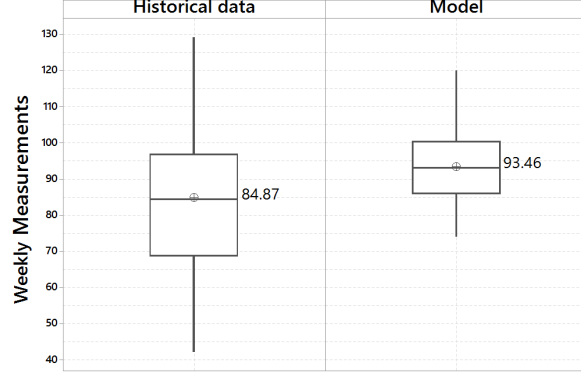


FIGURE 3.16 – Expected vs observed measurements (Low).

The same validation process was used for weekly amounts of tests between historical data and the model. Again, no significant difference was observed. Boxplots of Figure 3.17 and Figure 3.18, as well as Table 3.12, illustrate the results obtained from the statistical tests.

TABLE 3.12 – Summary of model validation for tests.

Period	Exp.	Obs.	Mean	SD	95% CI for difference	P-val.
Peak	X		6.02	0.98	(-0.267, 1.378)	0.182
		X	5.46	2.43		
Low	X		3.02	0.77	(-1.155, 0.028)	0.062
		X	3.58	1.91		

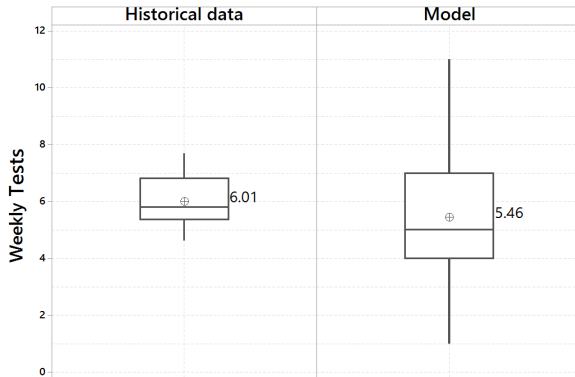


FIGURE 3.17 – Expected vs observed tests (Peak).

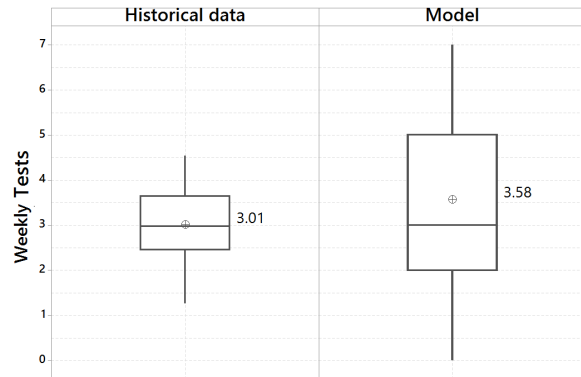


FIGURE 3.18 – Expected vs observed tests (Low).

The validation process for weekly truck arrivals is identical to the ones used for measurements and tests. The boxplots of Figure 3.19 and Figure 3.20 illustrate the comparison between historical data and model output for the number of public-road truck arrivals. Table 3.13

summarizes the validation results and shows no significant difference between the data samples for both periods.

TABLE 3.13 – Summary of model validation for public road arrivals.

Period	Exp.	Obs.	Mean	SD	95% CI for difference	P-val.
Peak	X		163.50	36.50	(-27.10 , 3.70)	0.131
		X	175.20	12.00		
Low	X		168.30	25.50	(-15.20 , 0.48)	0.065
		X	175.70	11.00		

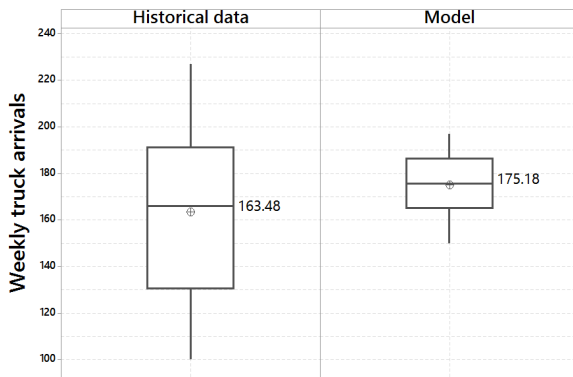


FIGURE 3.19 – Comparison of public road arrivals (Peak).

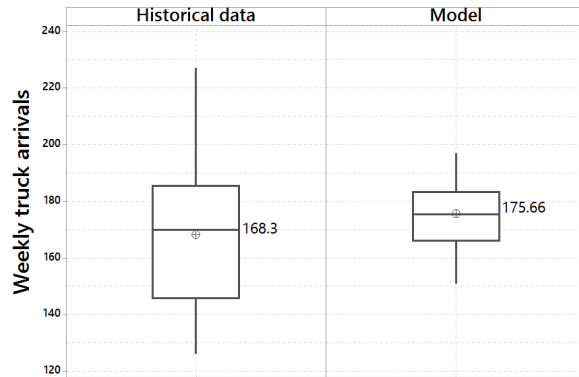


FIGURE 3.20 – Comparison of public road arrivals (Low).

Finally, no statistical difference was observed for the private-road truck arrivals either. Figure 3.21 contains the boxplot diagram for the peak-demand period, and Table 3.14 summarizes the validation results. No validation was necessary for the low-demand period from the private road, as it is completely cut-off and no trucks may enter during this period.

TABLE 3.14 – Summary of model validation for private road arrivals.

Period	Exp.	Obs.	Mean	SD	95% CI for difference	P-val.
Peak	X		104.90	36.20	(-14.38 , 9.39)	0.674
		X	107.40	10.30		

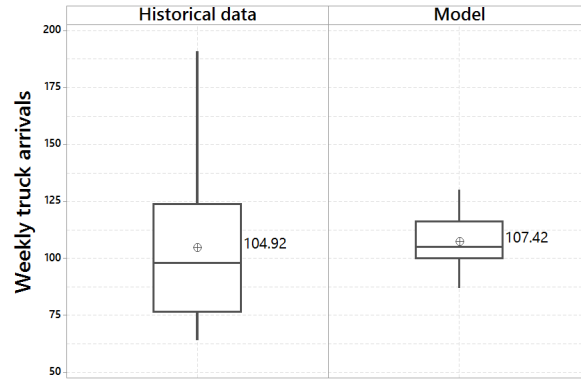


FIGURE 3.21 – Comparison of private road arrivals (Peak).

### 3.2.5 Simulation results

As a reminder, the key performance indicators (KPI) to be compared in this study are :

1. The weekly distances traveled by individual loader (kilometers per week)
2. Loader utilization rates

The main simulation objectives are the following :

- Prevent shortages at the sawmill (i.e. maintain a utilization rate of 100% for the sawmill)
- Prevent shortages at the slashing station (i.e. maintain a utilization rate of 100% for the slashing station)
- Keep the same fleet of loaders for peak and low season (in order to view seasonality effects)

Table 3.15 summarizes the average distance traveled per week for the 50 replications of the simulation model. The distances traveled for the Volvo and Prentice loaders do not vary between scenarios of the same layout since these two loaders are mainly affected by the consumption rates at the sawmill and at the slashing station respectively. Since no change has been made on these two parameters, the distances traveled are the same.

TABLE 3.15 – Total distances traveled per scenario and loader (km/week) - Avg (Min - Max).

Design type	Season	Scenario number	Volvo L150	Tanguay WL430	Tanguay LL228	Prentice 610
Initial layout	Peak	1	173.59	32.31 (26.28 - 38.62)	32.64 (26.94 - 37.83)	162.95
	Low	2		12.50 (8.42 - 16.58)	16.26 (11.93 - 20.93)	
New design	Peak	3	165.14	31.21 (24.98 - 41.38)	31.78 (24.94 - 20.93)	29.92
	Low	4		12.82 (7.69 - 17.14)	16.24 (12.60 - 19.58)	

From this table, it is possible to observe two main effects. First, it can be seen from scenarios 3 and 4 – where the slashing station is moved – that the Prentice 610 loader travels a much smaller distance than the initial layout scenarios (P-value=0.000). This can be explained by the fact that the slashing station is closer to the mill’s entrance and the main source of TL logs (private road).

Second, it can be observed from the two scenario type pairs (scenarios 1-2 and scenarios 3-4) that the two Tanguay loaders travel a relatively shorter distance during the summer (Low) than during the winter (Peak). This is caused by the seasonal effect of truck inflow variability. Fewer trucks coming in means a lower required use of those loaders. Table 3.16 shows that the results are indeed statistically significant. However, the suggested yard layout has little to no impact on traveled distances by the Tanguay loaders, as shown in Table 3.17.

TABLE 3.16 – Statistical differences of distance traveled between seasons for the Tanguay loaders.

Compared scenarios	Loader	95% CI for difference	P-value
1 and 2	Tanguay WL430	(18.639, 20.968)	0.000
1 and 2	Tanguay LL228	(15.416, 17.344)	0.000
3 and 4	Tanguay WL430	(17.126, 19.643)	0.000
3 and 4	Tanguay LL228	(14.507, 16.591)	0.000

TABLE 3.17 – Statistical differences of distance traveled between layout designs for the Tanguay loaders.

Compared scenarios	Loader	95% CI for difference	P-value
1 and 3	Tanguay WL430	(-0.427, 2.625)	0.156
1 and 3	Tanguay LL228	(-0.335, 2.053)	0.156
2 and 4	Tanguay WL430	(-1.085, 0.445)	0.408
2 and 4	Tanguay LL228	(-0.734, 0.791)	0.942

As for the second KPI to compare, Table 3.18 summarizes the average utilization rate per loader for each evaluated scenario over the 50 replications. Again, results do not vary for the Volvo and Prentice loaders for scenarios of the same yard layout because there is no random fluctuation in the related simulation parameters (sawmill consumption rate, slashing station consumption rate).

TABLE 3.18 – Loader utilization rates per scenario (%) - Avg (Min - Max).

Design type	Season	Scenario number	Volvo L150	Tanguay WL430	Tanguay LL228	Prentice 610
Initial layout	Peak	1	24.50	75.85 (66.86 - 85.99)	81.17 (71.23 - 100.00)	105.45
	Low	2		40.73 (31.48 - 51.59)	56.00 (47.87 - 64.90)	
New design	Peak	3	24.98	75.15 (64.02 - 100.00)	80.35 (67.99 - 100.00)	101.78
	Low	4		41.57 (31.28 - 50.37)	56.40 (48.97 - 62.19)	

Firstly, the utilization rates for the Tanguay loaders are reduced by nearly half during the summer (low demand period) comparatively to the winter. The results might indicate the possibility of combining the workloads of these two loaders to reduce operating costs. However, two loaders are still required during the peak season, so the cost reduction might not be significant. Also, it appears that moving the slashing station had no significant impact on the Tanguay WL430 (P-value=0.603 for Peak period and P-value=0.331 for Low period) and Tanguay LL228 (P-value=0.485 for Peak period and P-value=0.568 for Low period) utilization rates.

Secondly, it can be observed that the utilization rate for the Prentice 610 loader exceeds 100%. This is due to the fact that its workload is too high and it must perform some tasks while being off-shift. Indeed, forcing the simulation model to maintain a 100% utilization rate at the sawmill and at the slashing station creates a situation where the Prentice 610 must work overtime systematically to meet the demand. In this particular case, the slashing station is the main issue, as the Volvo loader’s utilization rate is relatively low in comparison.

Indeed, this utilization rate indicates that more efforts should be made by the yard managers to reduce its workload. Although moving the slashing station reduces its distance traveled considerably, it does not reduce its overall utilization rate by a large margin. This can be explained by the fact that a large part of its time is spent loading and unloading volumes of wood, while the transportation of materials across the yard represents a much smaller portion of its workload. Also, for the scenarios where the slashing station is moved, the Prentice loader is able to move a larger global volume of wood during the week, transporting a weekly volume of 6,640  $m^3$  comparatively to 5,430  $m^3$  for the initial layout scenarios.

In comparison to the initial layout model, the new layout has the following advantages :

- removes the need for a sound-blocking wall for minimizing disturbance to neighboring homes



- reduces the distance traveled by the Prentice 610 loader by 133 kilometers per week

However, the main downside this new layout implies is the investment required for moving the slashing station. Moreover, the results suggest that it might not be possible to remove a loader in order to reduce operating costs, since the workload implied by the unloading of trucks is too high.

### 3.2.6 Conclusions

The use of a formalized approach to wood yard design planning which includes a way to anticipate the performance of preliminary plans provides valuable insights to yard managers in a way that can hardly be achieved by intuition. The combined use of Hampton's method and discrete-event simulation models allowed quantifying the effects of moving the slashing station on the Prentice loader's workload. The results show that moving the slashing station reduced its distances travelled by a significant margin, while having very little impact on its utilization rate. However, the new layout has no significant impact on the performance of the other three loaders present in the yard. Considering the utilization rates for the Prentice 610 loader, there is a high risk that the sawmill operations might be interrupted due to shortages in raw materials. The industrial partner should therefore consider removing workload on the Prentice loader, adding more hours to its work shift, or invest in a new loader.

The simulation experiments show that the new layout possesses a few advantages in comparison to the initial layout. However, its implementation might imply a significant investment for moving the slashing station elsewhere in the yard. Paired with the fact that the log yard is still very dependent on the use of the Prentice 610 as a resource for the handling of materials, there is considerable doubt that predictably smooth operation of the log yard will occur in the long-term unless further improvements are made to reduce the workload for this loader. Thankfully, workload balancing for the Prentice loader would become easier on the new yard layout, since the slashing station and sawmill would be entirely independent. Other non-measurable advantages that the new layout offers are increased safety, as well as a reduction in the required maintenance of the yard, since travel distances (and therefore road wear) are reduced considerably.

### 3.2.7 Literature cited

Abdulmalek FA, Rajgopal J. 2007. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation : A process sector case study. *International Journal of production economics*.107 :223-236.

Banks J, Carson JS, Nelson BL, Nicol DM. 2010. *Discrete-Event System Simulation* : Prentice Hall.

- Beaudoin D, LeBel L, Soussi MA. 2012. Discrete event simulation to improve log yard operations. *INFOR : Information Systems and Operational Research*.50 :175-185.
- Chiorescu SaG, Anders. 2001. Assessing the role of the harvester within the forestry-wood chain. *Forest Products Journal*.51 :2.
- D'Amours S, Rönnqvist M, Weintraub A. 2008. Using operational research for supply chain planning in the forest products industry. *INFOR : Information Systems and Operational Research*.46 :265-281.
- Dogan CA, McClain TF, Wicklund SA. 1997. Simulation modeling and analysis of a hardwood sawmill. *Simulation Practice and Theory*.5 :387-403.
- Dramm JR, Govett R, Bilek T, Jackson GL. 2004. Log sort yard economics, planning, and feasibility : Citeseer.
- Dramm JR, Jackson G, Wong J. 2002. Review of log sort yards : US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Gautam S, LeBel L, Beaudoin D. 2013. Agility capabilities in wood procurement systems : a literature synthesis. *International Journal of Forest Engineering*.24 :216-232.
- Hampton CM. 1981. Dry Land Log Handling and Sorting : Planning, Construction, and Operation of Log Yards : M. Freeman Publications.
- Irani SA, Zhou J. 2011. Value stream mapping of a complete product. Department of Industrial, Welding and Systems Engineering, The Ohio State University, Columbus, OH.43210.
- LeBel L, Carruth JS. 1997. Simulation of woodyard inventory variations using a stochastic model. *Forest products journal*.47 :52.
- Miles PD, Smith WB. 2009. Specific gravity and other properties of wood and bark for 156 tree species found in North America : US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station.
- Myers J, Richards EW. 2003. Supporting wood supply chain decisions with simulation for a mill in Northwestern BC. *INFOR : Information Systems and Operational Research*.41 :213-234.
- Rahman A, Yella S, Dougherty M. 2014. Simulation and Optimization Techniques for Sawmill Yard Operations-A Literature Review. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*.6 :21.
- Salichon MC. 2005. Simulating changing diameter distributions in a softwood sawmill. Corvallis. (Master's thesis; no.).

- Shahi S, Pulkki R. 2015. A simulation-based optimization approach to integrated inventory management of a sawlog supply chain with demand uncertainty. *Canadian Journal of Forest Research*.45 :1313-1326.
- Sinclair AWJ, Wellburn GV, others. 1984. A handbook for designing, building and operating a log sortyard. A handbook for designing, building and operating a log sortyard.
- Tran E. 2008. Efficacité d'utilisation des chargeuses dans les parcs à bois : quatre études de ca. Forest Engineering Research Institute of Canada.
- Trzcianowska, M., Beaudoin, D., LeBel, L. 2017. Portrait général des cours à bois SEPM du Québec. Technical report, FORAC.
- Wang J, LeDoux CB, Li Y. 2005. Simulating cut-to-length harvesting operations in Appalachian hardwoods. *International Journal of Forest Engineering*.16 :11-27.
- Zanjani MK, Nourelfath M, Aït-Kadi D. 2011. Production planning with uncertainty in the quality of raw materials : a case in sawmills. *Journal of the Operational Research Society*.62 :1334-1343.

## Chapitre 4

# Réévaluation des charges de travail dans la cour de bois scié

Le présent chapitre discute des résultats obtenus durant l'étude de cas portant sur la cour de bois scié du partenaire industriel. Un modèle de simulation à événements discrets a également été bâti pour répondre aux questionnements portant sur les charges de travail des chargeuses. Les mêmes principes de la méthodologie de conception de cours à bois proposée par Hampton ont été suivis pour cette étude également, soit la collecte de données, la modélisation des flux et l'évaluation des différents scénarios. Cependant, certaines étapes portant sur l'aménagement, comme la priorisation des relations entre les flux, les calculs de besoins en superficie pour les activités et l'élaboration de plans préliminaires n'ont pas été jugées nécessaires pour les besoins du projet.

### 4.1 Rappel du besoin

Le partenaire industriel du projet se questionne quant à l'utilisation des chargeuses effectuant la manutention dans la cour de bois scié de son site de St-Pamphile. Les gestionnaires ont déjà implanté quelques améliorations de l'opération de leur cour de bois scié, notamment au niveau des localisations des zones de stockage et des horaires. Puisque les résultats de l'étude sur la cour de bois rond ont été jugés prometteurs, une seconde étude de cas a été sollicitée, cette fois-ci pour la cour de bois scié.

Le problème à résoudre dans le cadre de cette étude de cas concerne l'allocation des charges de travail des opérateurs de chargeuses. Les gestionnaires soupçonnent qu'il serait possible de retirer une chargeuse de la flotte d'équipements qui est utilisée pour effectuer la manutention des produits dans la cour.

## 4.2 Collecte des données

Puisque le projet de recherche se situe dans un contexte où la modernisation de l'usine est relativement récente, la quantité de données disponibles est petite. En effet, bien que les divers historiques de production qui sont nécessaires à la modélisation de certains processus soient disponibles et possèdent une grande quantité de données, les données représentant le comportement de l'ancien complexe de sciage doivent être filtrées. De plus, certaines données collectées lors des étapes de transition et d'implantation des nouvelles technologies dans le complexe de sciage doivent également être retirées de ces bases de données pour les besoins de l'étude.

Pour s'assurer que les données collectées correspondent aux besoins de l'étude, des entretiens avec les gestionnaires de différents processus (bureau d'expédition, planification du séchage, planification du rabotage) ont été nécessaires. Il est en effet nécessaire de cibler les horizons de temps durant lesquels les quantités de camions chargés pour l'expédition, ainsi que les nombres de séchages et la production à l'usine de rabotage correspondent à l'utilisation future prévue pour ces processus. Les horizons de temps dans les diverses bases de données ont été ciblés en fonction de ces besoins et ont été décrits en détail dans la section 2.1.2 du mémoire.

## 4.3 Modélisation des flux

Comme il a été expliqué dans la section 2.2.2 du mémoire, la cartographie des flux s'effectue de façon à mieux comprendre les interactions les plus fortes entre les diverses activités logistiques de la cour à bois. La Figure 4.1 représente cette modélisation des flux de matière. Les épaisseurs d'arcs varient en fonction du poids relatif des flux. Un trait plus large correspond alors à une interaction forte entre deux activités. Les activités représentées par des triangles correspondent aux activités de stockage, tandis que celles représentées d'un rectangle sont les activités logistiques. Les produits sont généralement classés en fonction de deux caractéristiques. La première consiste à spécifier si le produit a été séché (sec) ou non (vert). La seconde caractéristique spécifiée indique si le produit a été raboté (préparé) ou non (brut).

En se référant à cette figure, on remarque que la majorité des produits manutentionnés dans la cour traversent la même séquence de processus, passant chronologiquement par le séchage, le rabotage et l'expédition. Cependant, un très faible volume de produits est expédié sans être traité au séchage ou rabotage.



De plus, les cinq chargeuses et leurs tâches principales de manutention sont modélisées. Ces tâches ont été présentées précédemment dans la Table 2.9.

## 4.6 Vérification du modèle

Le processus de vérification consiste à confirmer les paramètres d'entrée du modèle de simulation avec le partenaire industriel. De plus, le modèle est présenté au partenaire en cours d'exécution pour valider le comportement de chacune des chargeuses sur le plan à l'échelle.

Les différents paramètres d'entrée qui ont été vérifiés avec l'équipe de gestionnaires sont les suivants :

- Les temps de traitement de chaque type de produit à l'usine de rabotage (une expression de distribution aléatoire pour chaque type de produit) ;
- les durées de séchage à chaque séchoir (deux expressions aléatoires par règle de chargement, soit une pour l'hiver et une pour l'été) ;
- les vitesses chargées et lèges des chargeuses ;
- les temps de chargement et déchargement des chargeuses ;
- l'allocation des zones de stockage dans la cour pour chaque produit ;
- le plan de production de l'usine de rabotage qui a été exécuté dans le modèle (quantité et type de chaque produit à traiter) ;
- les plans de chargement des séchoirs (les règles de chargement exécutées pour chacun des séchoirs).

De plus, certains résultats provenant du modèle ont été vérifiés et acceptés par le partenaire industriel. Ces résultats sont les quantités de produits sortant du sciage, les quantités de séchages effectués, le nombre de paquets traités au rabotage et la quantité de camions d'expédition chargés au cours de la durée d'exécution du modèle.

Cependant, un problème est survenu lors de la présentation des résultats préliminaires. En effet, le partenaire industriel jugeait initialement les taux d'utilisation des chargeuses comme étant trop sous-estimés. La raison est que les chargeuses semblent être utilisées durant toute la journée, mais les taux d'utilisation obtenus à l'aide du modèle de simulation ne semblaient pas représenter cette réalité.

Sachant que les paramètres d'entrée et le comportement des chargeuses dans le modèle de simulation représentent adéquatement les tâches de manutention, le constat est que les tâches connexes des chargeuses ne sont pas négligeables. Selon toute vraisemblance, l'hypothèse simplificatrice posée au début de cette étude de cas, impliquant que la majeure partie de la charge de travail des chargeuses consiste en la manutention des produits à travers la cour (qui est justifiée dans le cas de la cour de bois rond), n'est pas valable pour la cour de bois scié.

Des efforts subséquents ont été faits pour ajouter de la crédibilité au modèle pour les besoins de l'étude. L'objectif étant d'ajouter les tâches connexes les plus importantes au modèle, une liste de ces tâches a été bâtie avec la collaboration des gestionnaires de la cour à bois. Cette liste est représentée dans la Table 4.1. Effectivement, avant de voir les premiers résultats de simulation, l'entreprise partenaire ne savait pas que la majorité des tâches réalisées par les chargeuses n'étaient pas liées à la manutention du bois. Depuis, l'entreprise s'est mise à documenter de manière plus exhaustive les tâches réalisées par les machines. Ce facteur est pris en considération lors des recommandations proposées suite aux analyses des résultats faites à la section 4.8 du mémoire.

TABLE 4.1 – Tâches connexes ajoutées au modèle suite à la validation

Nom chargeuse	Tâches connexes ajoutées
Séchoirs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chargement des sciures et rabotures (4-5x 45 minutes/jour)</li> </ul>
Entrée rabotage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transport de résidus et déchets vers la déchiqueteuse (30 minutes/jour)</li> </ul>
Sortie rabotage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traitement des fonds de paquets (1 heure/jour)</li> <li>• Attendre les paquets (2 minutes/paquet)</li> </ul>
Sortie sciage	<i>Aucune tâche ajoutée</i>
Expédition	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aider chargeuse séchoirs (10 heures/semaine)</li> <li>• Transferts vers sous-traitants (2-3 camions/semaine)</li> </ul>

Malgré le fait que l'entreprise ait vérifié le modèle de simulation, sa validation en fut impossible puisque le partenaire industriel ne connaissait pas les taux d'utilisation des équipements. Malgré tout, le partenaire a jugé bon de faire les simulations suite à l'ajout des tâches connexes, car le modèle a été jugé assez crédible pour effectuer des analyses.

## 4.7 Résultats et discussions

La Table 4.2 résume l'ensemble des résultats obtenus en suivant le plan d'expérience précédemment discuté dans la section 2.8.10 du mémoire. Pour chaque combinaison de pistes de solutions possibles, un scénario correspondant à la période hivernale et estivale est évalué. Cela est dû au fait que l'effet de la saisonnalité est non négligeable notamment sur les durées de séchage, ce qui influence directement l'utilisation de la chargeuse dédiée aux séchoirs.

Pour les scénarios à quatre chargeuses, les charges de travail qui ont été combinées sont le déchargement de la sortie du planeur (rabotage) et le chargement des camions d'expédition. Cette décision est justifiée par le fait que ces deux tâches sont localisées très près l'une de l'autre et que les produits manutentionnés dans les deux cas sont les produits finis prêts à être livrés.



TABLE 4.2 – Résultats des expérimentations de l'étude sur la cour de bois scié

Piste de solution	Cinq chargeuses				Quatre chargeuses			
Scénario	1	2	3	4	5	6	7	8
Combiner deux chargeuses	-	-	-	-	+	+	+	+
Accumulation sortie rabotage	-	+	-	+	-	+	-	+
Deux paquets par voyage (séchoirs)	-	-	+	+	-	-	+	+
Qté rabotée (nb paquets)	5 004	5 012	4 989	5 012	4 647	5 033	4 643,2	5 006
	4 990	5 016	4 987	5 005	4 653	5 026	4 650	5 011
Charg. sortie sciage (%)	38,8	38,5	38,8	38,9	38,5	38,7	38,6	38,6
	38,8	38,5	38,6	38,5	38,8	38,9	38,7	38,9
Charg./décharg. séchoirs (%)	88,1	86,2	62,3	62,1	87,9	89,6	62,0	62,8
	72,5	71,5	53,2	51,4	73,2	72,2	53,6	52,9
Charg. entrée rabotage (%)	68,6	69,1	68,5	70,1	69,1	70,7	68,3	72,6
	68,1	72,1	68,8	74,6	71,8	69,8	71,5	69,0
Charg. sortie rabotage (%)	63,8	31,1	63,6	31,1				
	63,6	31,1	63,6	31,1				
Charg. expédition (%)	66,3	65,8	64,6	64,4	98,0	72,6	98,3	72,5
	66,1	66,2	65,1	65,3	98,4	72,7	98,2	72,3

Gris = Été, Blanc = Hiver

Les résultats du scénario initial sont présentés en premier (scénarios 1 à 4), suivis de ceux des autres scénarios (scénarios 5 à 8).

Les prochaines sous-sections du mémoire discutent plus en détail des résultats pour la situation initiale et des effets résultant des pistes de solution jugées les plus prometteuses.

#### 4.7.1 Situation initiale

Avant d'évaluer la performance des pistes de solution étudiées, il est important d'examiner la situation initiale qui sert de comparatif pour ces pistes de solution. Cette étape permet également d'identifier certains problèmes présents actuellement et d'en effectuer le diagnostic. La Table 4.3 et la Table 4.4 représentent les taux d'utilisation et les distances parcourues par les chargeuses pour les périodes d'été et d'hiver respectivement. Ces résultats correspondent aux moyennes observées sur le temps d'exécution d'un mois du modèle. Les taux d'utilisation quotidiens minimaux et maximaux sont également spécifiés, car la charge de travail des chargeuses n'est pas nécessairement stable d'une journée à l'autre. De plus, les distances mensuelles parcourues ont également des valeurs minimales et maximales, qui résultent en des fluctuations de nombres aléatoires lors des répliques des expériences.

TABLE 4.3 – Résultats d’expériences pour la situation initiale (été)

Chargeuse	Taux d’utilisation (%)		Distances parcourues (km/mois)	
	Moyenne	(minimum - maximum)	Moyenne	(minimum - maximum)
Sortie sciage	38,79	(36,70 - 40,29)	1 952,57	(1 924,59 - 1 994,55)
Séchoirs	88,11	(45,24 - 97,69)	5 173,16	(4 851,21 - 5 321,11)
Entrée planeur	68,63	(58,88 - 76,72)	1 710,70	(1 693,31 - 1 721,36)
Sortie planeur	63,81	(47,20 - 76,63)	1 212,44	(1 196,41 - 1 224,15)
Expédition	66,27	(46,35 - 77,42)	817,06	(770,92 - 897,23)

TABLE 4.4 – Résultats d’expériences pour la situation initiale (hiver)

Chargeuse	Taux d’utilisation (%)		Distances parcourues (km/mois)	
	Moyenne	(minimum - maximum)	Moyenne	(minimum - maximum)
Sortie sciage	38,77	(35,70 - 40,45)	1 950,83	(1 896,17 - 2 000,87)
Séchoirs	72,50	(25,36 - 97,21)	4 184,67	(4 110,62 - 4 351,37)
Entrée planeur	68,07	(58,06 - 72,11)	1 711,03	(1 696,14 - 1 718,57)
Sortie planeur	63,64	(47,33 - 76,65)	1 208,52	(1 197,40 - 1 223,08)
Expédition	66,06	(42,31 - 74,55)	813,70	(745,99 - 857,78)

En se référant à ces résultats, on peut constater que la chargeuse s’occupant des séchoirs est la plus sollicitée. De plus, son taux d’utilisation quotidien fluctue énormément. Cela est dû au fait qu’il peut se passer une journée où tous les séchoirs sont en cours d’utilisation et ne requièrent pas de manutention. La charge de travail de cette chargeuse est alors fortement influencée par la planification des chargements des séchoirs. Il est cependant intéressant de constater que le transport de deux paquets par voyage aux séchoirs réduit grandement la charge de travail de la chargeuse concernée. Cette piste de solution sera discutée à la section 4.7.2

De plus, on peut remarquer que les taux d’utilisation des chargeuses ne laissent pas présager qu’il soit possible de combiner les charges de travail de deux chargeuses en une seule. Avant d’être en mesure de retirer une chargeuse de la flotte, il faudrait impérativement trouver des solutions pour réduire les charges de travail de ces dernières.

#### 4.7.2 Transporter deux paquets par voyage

La première piste de solution jugée prometteuse est de transporter deux paquets par voyage pour le chargement et le déchargement des séchoirs. Actuellement, un seul paquet par voyage est transporté. Cela est dû au fait que la chargeuse n’est pas assez puissante pour transporter deux paquets de produits à la fois. Des scénarios ont alors été évalués dans le but de mesurer les effets du transport de deux paquets par voyage sur le taux d’utilisation de la chargeuse.

Tel qu’illustré à la Figure 4.2, la réduction de la charge de travail est d’approximativement

20% durant l’hiver et d’environ 25% durant l’été. Cette piste de solution est cependant moins intéressante car elle nécessiterait un investissement substantiel pour l’acquisition d’une nouvelle chargeuse plus puissante. De plus, bien que cette solution ne permette pas directement de retirer une chargeuse de la flotte, le simple fait d’alléger la charge de travail de cette chargeuse est bénéfique pour les opérations de la cour, car cette dernière est fréquemment surchargée.

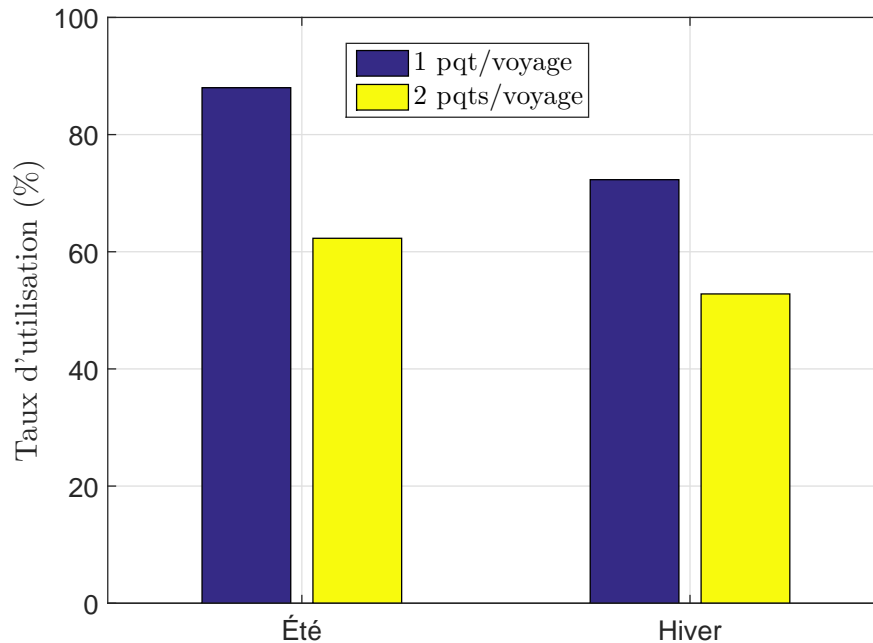


FIGURE 4.2 – Effet de transporter deux paquets par voyage sur le taux d’utilisation de la chargeuse allouée aux séchoirs.

### 4.7.3 Accumulation de produits à la sortie du planeur

La seconde piste de solution envisagée pour réduire la charge de travail (et indirectement permettre de combiner les charges de travail de deux chargeuses en une) porte sur la possibilité d’une accumulation de produits finis à la sortie du planeur (rabotage) à l’aide d’un convoyeur accumulatif. Un tel convoyeur permettrait de libérer de la charge de travail pour cette chargeuse car cette dernière n’aurait plus besoin d’attendre la sortie du produit pour le déplacer vers une zone tampon. Par exemple, la chargeuse disposerait alors d’assez de temps pour charger un camion d’expédition sans interruption.

Les Tables 4.5 et 4.6 résument les résultats observés pour les périodes d’été et d’hiver respectivement. Les tâches des chargeuses allouées à l’expédition et au déchargement du rabotage ont été combinées dans le modèle vers la chargeuse "Expédition". Cela explique alors le fait que la chargeuse "Sortie planeur" n’est plus utilisée.

TABLE 4.5 – Résultats d’expériences pour le scénario ”Accumulation planeur” (été)

Chargeuse	Taux d’utilisation (%)		Distances parcourues (km/mois)	
	Moyenne	(minimum - maximum)	Moyenne	(minimum - maximum)
Sortie sciage	38,67	(36,89 - 40,32)	1 945,82	(1 905,21 - 1 990,65)
Séchoirs	89,58	(23,41 - 97,02)	5 301,45	(5 067,42 - 5 564,99)
Entrée planeur	70,65	(59,38 - 77,76)	1 718,88	(1 712,29 - 1 728,66)
Sortie planeur	0,00	0,00	0,00	0,00
Expédition	72,56	(61,54 - 100,00)	2 821,35	(2 791,20 - 2 858,10)

TABLE 4.6 – Résultats d’expériences pour le scénario ”Accumulation planeur” (hiver)

Chargeuse	Taux d’utilisation (%)		Distances parcourues (km/mois)	
	Moyenne	(minimum - maximum)	Moyenne	(minimum - maximum)
Sortie sciage	38,94	(36,84 - 41,14)	1 958,50	(1 879,27 - 1 998,45)
Séchoirs	72,18	(19,56 - 96,75)	4 184,61	(3 904,95 - 4 349,92)
Entrée planeur	69,81	(58,55 - 75,19)	1 720,72	(1 708,38 - 1 728,81)
Sortie planeur	0,00	0,00	0,00	0,00
Expédition	72,67	(40,60 - 98,27)	2 818,77	(2 796,35 - 2 852,65)

En premier lieu, on remarque que les chargeuses s’occupant de l’entrée du rabotage, des séchoirs et du déchargement du sciage ne sont pas affectées par cette piste de solution.

En second lieu, on peut observer que le taux d’utilisation moyen de la chargeuse ayant les tâches combinées n’est pas excessivement élevé. Au premier coup d’oeil, on peut supposer que cette piste de solution devient alors envisageable. Toutefois, en observant les taux d’utilisation quotidiens maximaux, on peut constater que cette chargeuse devient parfois très fortement sollicitée. Considérant que les charges de travail des chargeuses sont probablement sous-estimées à cause des tâches connexes, un appel à la prudence est de mise. Si cette piste de solution est implantée sans mieux connaître la réelle charge de travail imposée par les tâches connexes, il est possible que cette chargeuse ne soit plus en mesure d’effectuer certaines tâches car elle pourrait devenir trop sollicitée.

Néanmoins, cette piste de solution permet tout de même d’alléger la charge de travail de la chargeuse assignée au déchargement de la sortie du rabotage. En effet, tel qu’illustré à la Figure 4.3, les taux d’utilisation sont considérablement réduits, qu’une chargeuse soit retirée ou non.

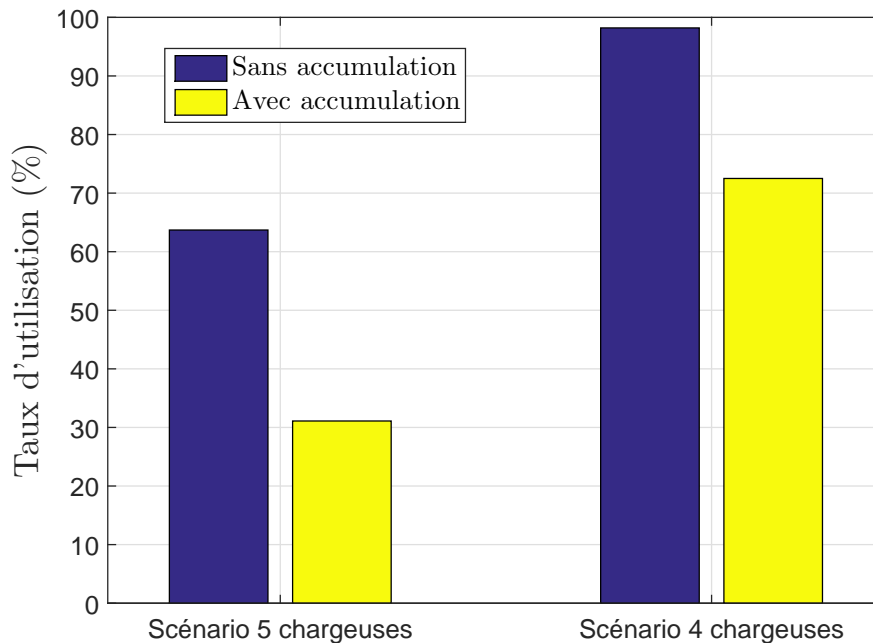


FIGURE 4.3 – Effet de l’accumulation à la sortie du planeur sur le taux moyen d’utilisation de la chargeuse allouée à son déchargement.

## 4.8 Conclusions et recommandations

En conclusion, certaines recommandations ont pu être faites pour assister le partenaire industriel dans l’amélioration des opérations de la cour à bois sur le long terme.

Tout d’abord, les résultats d’expériences concernant la situation initiale ont démontré qu’il ne serait pas envisageable de combiner la charge de travail de deux chargeuses sans effectuer de modifications additionnelles aux opérations. En effet, la production de l’usine de rabotage serait négativement affectée par cette réorganisation des tâches, de sorte qu’un nombre considérablement réduit de paquets par mois serait traité. De plus, puisque la charge de travail de la chargeuse s’occupant des séchoirs dépend fortement de la planification des chargements de séchoir, il serait recommandé de considérer la charge de travail impliquée par ces plans de séchage sur la chargeuse. Une telle considération permettrait de réduire les fluctuations quotidiennes du taux d’utilisation pour cette chargeuse.

Ensuite, la première piste de solution testée à l’aide du modèle de simulation est l’utilisation d’un convoyeur accumulatif à la sortie du rabotage. Cette accumulation permettrait alors de libérer une chargeuse qui sinon devrait rester en attente des produits sortants pour éviter une interruption de la production au rabotage. Le modèle de simulation démontre qu’un tel convoyeur permettrait à première vue de retirer une chargeuse. Cependant, considérant que les

charges de travail réelles des chargeuses sont potentiellement sous-estimées, il est recommandé d'acquérir plus d'informations sur ces dernières avant de se livrer à des conclusions hâtives.

La seconde piste de solution évaluée est de transporter deux paquets par voyage pour la manutention des produits aux séchoirs. Bien que cette solution ait ses bienfaits globaux sur la flotte de chargeuses en allégeant la charge de travail de la chargeuse la plus sollicitée, elle ne permet pas directement de retirer une chargeuse. D'ailleurs, un investissement supplémentaire est requis pour l'acquisition d'une chargeuse plus puissante pouvant transporter deux produits par voyage.

En combinant l'ensemble de ces pistes de solution, il semble possible de retirer une chargeuse de la cour de bois scié sans avoir d'effets négatifs sur les opérations journalières. Cependant, trop peu d'informations sont disponibles pour en arriver à ces conclusions avec un niveau de confiance suffisant. Des recommandations supplémentaires sont fournies au partenaire industriel concernant l'acquisition de données et une meilleure connaissance des opérations actuelles. Il est notamment recommandé d'établir une liste exhaustive des tâches connexes des chargeuses, en tenant compte de la durée et de la fréquence de ces tâches. Cette liste peut être obtenue notamment à l'aide de contrôles ponctuels aléatoires ou d'études de temps et mouvements. Une fois ces informations collectées, le modèle de simulation pourrait être validé pour confirmer ou infirmer la faisabilité des diverses pistes de solution étudiées.

Pour terminer, l'importance des tâches connexes est une problématique qui soulève un questionnement en particulier. En effet, il serait pertinent de questionner l'utilisation de ces chargeuses frontales pour effectuer des tâches qui ne consistent pas en la manutention de produits. Il serait peut-être possible d'utiliser un équipement plus petit et versatile, ainsi que moins dispendieux à utiliser qu'une chargeuse frontale pour accomplir certaines tâches. Le cas échéant, la performance des opérations de la cour de bois scié s'en verrait bonifiée. Il aurait également pu être possible de faire en sorte que les chargeuses travaillent en tournées entre les processus. Bien que cela nécessite une supervision accrue des opérations de la cour, le gain potentiel obtenu avec du retour en charge, plutôt que de ne faire que des allers-retours, aurait été intéressant à explorer.

# Conclusion

Dans ce mémoire, la simulation à événements discrets et une méthodologie de conception de plans d'aménagement sont utilisées en combinaison pour assister un partenaire industriel dans la résolution de diverses problématiques de design et d'opération de ses cours à bois.

## Points et résultats clés

Dans un premier temps, des problématiques portant sur le design de la cour de bois rond ont été abordées. En utilisant la méthode de design de cour à bois proposée par Hampton, un plan d'aménagement a été obtenu. Ce dernier a ensuite été comparé avec le plan initial à l'aide de la simulation à événements discrets. Les expériences de simulation ont démontré que le nouveau plan d'aménagement réduirait significativement la distance parcourue par la chargeuse montée sur camion, Prentice 610. Cependant, aucun impact significatif sur les taux d'utilisation et les distances parcourues par les autres chargeuses n'a été observé.

En second lieu, la problématique d'affectation des tâches des chargeuses a été étudiée pour la cour de bois scié. À l'aide d'expérimentations avec un modèle de simulation, il a été déterminé que, *si l'on ne tient compte que des tâches de manutention dans la cour*, il serait possible de combiner les charges de travail de deux chargeuses en une seule sans impacter négativement les opérations de la cour. Pour ce faire, il faut cependant permettre une accumulation de produits à la sortie du rabotage. Cela est nécessaire parce que sinon la chargeuse doit rester plus longtemps fixée à la sortie de l'usine pour ramasser un paquet dès qu'il sort pour éviter des interruptions de production. De plus, il a été observé que de transporter deux paquets par voyage pour la chargeuse s'occupant des séchoirs allègerait sa charge de travail significativement, soit une réduction du taux d'utilisation d'environ 25 %. Cela est un gain intéressant considérant que cette chargeuse est celle qui a le risque le plus élevé d'être surutilisée. Ces conclusions, bien qu'intéressantes pour le partenaire industriel, devraient être examinées plus en profondeur. Effectivement, il est possible que l'une des hypothèses simplificatrices posées pour la réalisation des modèles de simulation dans le cadre de ce mémoire ne soit pas généralisable. Cette hypothèse est que la tâche principale d'une chargeuse dans une cour à bois est la manutention des produits. Cette dernière est plausible dans le cas de la cour de bois rond, mais ne semble pas l'être pour l'étude de la cour de bois scié. En effet, lors de l'étape de

validation du second modèle de simulation, les taux d'utilisation des machines semblent avoir été sous-estimés. Cela est probablement dû au fait que les tâches connexes des chargeuses composent une plus grande portion de la charge de travail globale de ces dernières. Il est alors recommandé d'obtenir plus d'informations sur la durée et fréquence de chacune de ces tâches connexes avant d'implanter les pistes de solution évaluées dans le cadre de ce projet. Le partenaire industriel du projet a suivi ces recommandations, et est en processus d'acquisition de données additionnelles.

## **Recommandations pour la poursuite des travaux**

Puisque la qualité d'un modèle est souvent limitée par la qualité des données qui lui servent d'intrant, il est recommandé d'acquérir un plus grand nombre de données sur le long terme. Cette collecte de donnée devrait être aussi non intrusive que possible pour les opérateurs de chargeuses, tout en étant simple et rapide à effectuer pour les gestionnaires. Une méthode possible serait par exemple de faire des contrôles ponctuels aléatoires. L'important est d'avoir une grande quantité de données et d'être en mesure de mieux connaître ce que font réellement les chargeuses dans la cour. Une utilisation courante d'outils de ce type permettrait non seulement d'améliorer la qualité des données incorporées aux modèles de simulation, mais aussi de rendre le processus de validation plus fiable et crédible.

Considérant que le développement de ces modèles de simulation requiert une certaine expertise et une grande quantité de temps, il serait très intéressant de développer un outil ou une librairie généralisable. S'il existait un outil pouvant être rapidement adaptable d'une cour à bois à l'autre, la simulation à événements discrets serait fort probablement plus utilisée dans l'industrie forestière. Puisqu'il semble que les cours à bois ont chacune leur particularité, que ce soit au niveau des processus s'y déroulant, la caractérisation des produits, les méthodes de manutention, etc., il faut être en mesure de cibler des hypothèses simplificatrices pouvant résoudre un grand nombre de problématiques variées, sans simplifier excessivement les systèmes à modéliser.



## Annexe A

# Article de conférence MOSIM 2014

Cette annexe comprend l'article de conférence intitulé "Log Yard Design using Discrete-Event Simulation : First Step Towards a Formalized Approach". Cet article a été rédigé et présenté pour la conférence internationale de modélisation et simulation (MOSIM) du 5 au 7 novembre 2014 à Nancy, en France. Cet article, examiné et accepté par des pairs, discute des travaux effectués en lien avec la cour de bois rond, dont le plan d'aménagement était à réévaluer. Comparativement à l'article disponible au Chapitre 3, l'approche utilisée est plus méthodologique qu'appliquée, et moins d'efforts sont faits au niveau de la description du modèle de simulation et de la validation de ce dernier.

### A.1 Résumé

Cet article évalue une méthodologie d'aménagement de parcs à bois. La méthode utilisée provient d'une procédure d'aménagement de cours à bois développée au début des années 1980 par Hampton. Cependant, un modèle de simulation a été utilisé pour une évaluation plus détaillée de la performance opérationnelle des cours à bois. L'objectif de cet ajout à la méthode de conception est d'offrir une procédure plus rigoureuse pour le design des cours à bois, et d'assister les gestionnaires industriels dans la prise de décision concernant l'opération de ces dernières. Cette méthodologie est divisée en six étapes : (1) la collecte de données sur les ressources et activités pertinentes, (2) la cartographie des flux de matière, (3) la priorisation des flux, (4) la détermination des espaces requis pour les activités, (5) le développement de plans préliminaires et (6) l'évaluation de ces plans en utilisant la simulation à événements discrets. Toutes les étapes de cette méthodologie ont été effectuées en partenariat avec un industriel forestier. Les résultats démontrent que l'intégration de la simulation à événements discrets à cette méthode permet une évaluation plus robuste de la performance des cours à bois.

### A.2 Log yard Design Using Discrete-Event Simulation

## LOG YARD DESIGN USING DISCRETE-EVENT SIMULATION: FIRST STEP TOWARDS A FORMALIZED APPROACH

Sébastien V. Robichaud, Daniel Beaudoin

FORAC and Département des sciences du bois et de la forêt, Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique  
Université Laval – Québec – Canada – G1V 0A6  
sebastien.vachon-robichaud.1@ulaval.ca,  
daniel.beaudoin@sbf.ulaval.ca

Luc LeBel

FORAC, CIRRELT and Département des sciences du bois et de la forêt, Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique  
Université Laval – Québec – Canada – G1V 0A6  
luc.lebel@sbf.ulaval.ca

**ABSTRACT:** *The current paper assesses a log yard design methodology. The method is derived from a procedure developed in the early 1980's and is updated using simulation software and analytic tools which allow for a more thorough evaluation of yard performance. The purpose of the proposed method is to offer a rigorous procedure for log yard design and to assist the industry in making decisions concerning log yard operation. The methodology used in this experiment is divided into six steps: (1) collecting data on resources and relevant activities, (2) modeling material flow, (3) establishing flow priorities, (4) determining the required space for each activity, (5) developing preliminary plans and (6) evaluating said plans using simulation modeling tools. The method was carried out in partnership with a forest product company which was considering options for mill yard improvements. Results indicate that the methodology is useful to guide decision makers when developing a log yard design. Moreover, integrated with simulation tools, it provides for a robust evaluation of log yard performance through investigations using sensitivity analysis. Finally, handling equipment capacity and the dynamic interaction between each activity within the yard can now be determined and observed, which was not possible with previous methods.*

**KEYWORDS:** *Log Yard; Design; Performance analysis; Simulation modeling; Flow analysis*

### 1 INTRODUCTION

The forest industry is constantly evolving to reduce cost and increase market value. For it to thrive, the industry needs to be flexible and sustainable (Gautam et al., 2013). While much research has been done to optimize the industry's value chain (D'Amours et al., 2008), notably on timber harvesting, transportation and transformation, little research has been done on the operation and design of log yards. Indeed, a well-designed log yard is critical for efficient sawmill operation, and neglecting such design may lead to increased operating costs, shortages in raw material, inventory degradation, as well as significant environmental and social impacts (increased pollution, noise, and safety risks) (Demers et al., 2000, Koehncke et al., 2003). Additionally, a log yard can often perdure for decades, thus making its conception critical for reducing costs in the long run.

This paper introduces an enhancement to existing methodologies such as those proposed by Hampton (1981), and Baker and Canessa (2009). These methodologies provide a detailed understanding of the principles behind the design of log yards. However, the evaluation of the design is insufficient. Evaluating the design of a log yard is difficult since it implies complex interactions with its operation, which then leads to a multitude of sub-

problems related to log yard planning (Gu et al., 2007, Rouwenhorst et al., 2000, Berg, 1999).

Indeed, the design of a log yard can be divided into the following sub-problems:

- 1) General structure: identification of departments, relative localization of each department.
- 2) Dimensioning: log yard area, department dimensions.
- 3) Department configuration: amount, length, width, height and direction of log piles.
- 4) Equipment selection: handling and unloading equipment.

These sub-problems not only interact with each other (for example, the localization and height of log stockpiles affect handling and unloading equipment selection), but they also interact with the following operation sub-problems, which creates the need for a method that allows to dynamically evaluate log yard performance.

- 1) Operation strategy: storage strategy (e.g. random, dedicated, First In First Out, freshness, etc.)
- 2) Log classes affectations: characterization of raw materials, allocating raw materials to specific departments, area allocation.

Sawmills are frequently confronted to one or several of these problems, which was also the case for the studied lumber mill. Therefore, the project pursued the objective to tackle the sub-problems of general structure, sizing and dimensioning, department configuration, equipment selection and log classes' affectation in order to improve the evaluation process of log yard design methodologies.

While some useful tools, such as Quality Function Deployment (Wasserman, 1993, Govers, 1996) and Value Stream Mapping (Irani & Zhou, 2000, Abdulmalek & Rajgopal, 2007, Pepper & Spedding, 2010), can be applied to solve some of these problems, these methods have a few drawbacks when used with log yard design. For example, VSM is insufficient in mapping several products if they do not have exactly the same process routings, or in including varying machine cycle times. Also, decision-making tools such as QFD can be very useful in prioritizing according to multiple requirements. However, in the same way than VSM does, they do not allow the user to dynamically see many time-varying aspects which are critical to log yards (machine cycle times, varying supply and customer demand, etc.).

Section 2 describes the methods used to carry out this project. Sections 3 through 7 describe the design steps and their outcomes. Section 8 presents the simulation model developed to evaluate the designs. Discussion and conclusions are presented in sections 9 and 10.

## 2 METHODS

For the sake of this study, a log yard design procedure developed by the proficient practitioner Charles Hampton was used and formalized (Hampton, 1981). It is divided into six steps, which are: (1) collecting data on relevant activities and resources, (2) modeling material flow, (3) establishing flow relationship diagrams in order to assess flow priorities, (4) determining required space for each activity, (5) developing preliminary plans and finally (6) evaluating said plans, but this time we used discrete-event simulation for log yard evaluation instead of using averages and wide-ranging calculations. This process can indeed be iterative from step (6), in such a way that modifications can be made according to the results observed through simulation.

Using this methodology, it is possible to obtain one or many designs which can then be compared according to key performance indicators. Discrete-event simulation provides a better understanding of the log yard's behavior on the operational level and assists in identifying bottlenecks prior to implementation.

An ongoing log yard design project from the Province of Quebec, located in Canada, was used to test the method for the purposes of the study. The lumber mill company was in the process of modernizing the facility, thus giving an interesting opportunity to carry out the research.

This medium-sized sawmill, which consumes approximately 500,000 cubic meters of spruce and fir every year, is located in a small rural area (fairly close to a residential area) and has as primary purpose to produce timber to be used for construction. It contains two main entries, one from public roads (paved road) and one from a private road (dirt road), which is maintained by the company.

Since this log yard is subject to seasonal variability and this leads to varying operation dynamics, simulation models were built for both periods with minimum and maximum resource arrivals. Maximum inflow was measured during the season with highest raw material inflow (from January until March). Minimum inflow was also measured during the lowest utilization period (from April until June). This was done in order to avoid redundant capacity.

## 3 DATA COLLECTION

Data collection is the first step of the studied methodology, and can be divided into four parts: obtaining information on the raw material profile, quantifying inflow data, understanding the handling activities and comparing the handling and unloading equipment alternatives. Gathering information on these four main aspects provides a clear understanding of the requirements for completing an efficient layout.

### 3.1 Raw Material Profile

In this step, the methodology suggests dividing raw materials in different categories based on the handling activities and processes they must undergo. Since particular categories of raw materials go through different log yard activities, resource data is most important for establishing a good design. The division of raw material profiles is done on a case by case basis and depends on the mill. In the study case, the raw materials were divided into three main categories described below: cut-to-length logs, tree-length logs and large diameter logs. The descriptions are specific to the example business, but the general approach may be used for other sawmills.

Cut-to-length (CTL) logs are a type of raw material that is bucked to specific lengths directly at the harvesting site. These logs are mainly 3.65m (12 ft.) and 4.88m (16 ft.) in length with varying diameters, and are currently mixed together inside the log yard. Other lengths, such as 2.44m (8 ft.), 2.74m (9 ft.), and 3.05m (10 ft.) are also present in the log yard but amount to an insignificant volume compared to the other products. Very small logs, categorized as "pulp logs", are directly sent to the chipper<sup>1</sup> and not processed through the sawmill factory production line.

---

<sup>1</sup> Chipper: machine that reduces logs to thumb-size chips.

Tree-length (TL) logs usually exceed 5.49m (18 ft.) in length and are stored in dedicated stockpiles. Contrarily to CTL logs, they are not bucked at their harvesting site and are delivered in their whole length, with branches cut off. Since they are generally harder to handle and heavier than CTL logs, some kinds of machinery cannot be used to move them. Another major difference between TL and CTL logs is that TL logs must be slashed<sup>2</sup> for log shortening as the mill itself can only process CTL logs.

Finally, the third main log category that is handled within the log yard is large diameter logs (LD). These logs are very similar to CTL logs since both are already sawn and do not require to be processed at the slashing station. However, they are put in a different category because of their large diameter, which is considered too large for the debarking process at the factory entry (such a log would then completely block the hydraulic debarking unit and halt production). For this reason, they must be handled in another production line. In the studied case, logs exceeding 40.64cm (16 in.) in diameter were brought to the secondary entrance in order to ensure that there would be no problems with the debarking process.

### 3.2 Raw Material Inflow

It is primordial to understand the inflow of raw materials because this has a significant impact on the capacity requirements inside the log yard. For example, in the case that was studied, there are two main roads from where the raw materials are delivered; public road and private road. Public roads are paved with asphalt and may be used by the general public. Trucks delivering from these roads are generally smaller and lighter in order to conform to road regulations. Private roads are often used in order to allow bigger and heavier trucks to deliver more volume of raw materials per trip. All types of logs can be delivered from both sources, though in this case most tree-length logs come from private roads and most CTL logs come from public roads.

As stated previously, the inflow of logs also varies seasonally. Figure 1 illustrates the seasonal variability by illustrating the weekly amount of delivery trucks that came to deliver raw materials for a period of a year and a half. During winter, the arrival rates from the private road entrance are at their peak during the year, and then completely stop during spring. This is due to the fact that private roads are blocked during the spring because of their poor condition after thawing. The supply from the public road stays relatively constant throughout the year, except during Christmas and New Years' time, where supply trucks operators are on vacation.

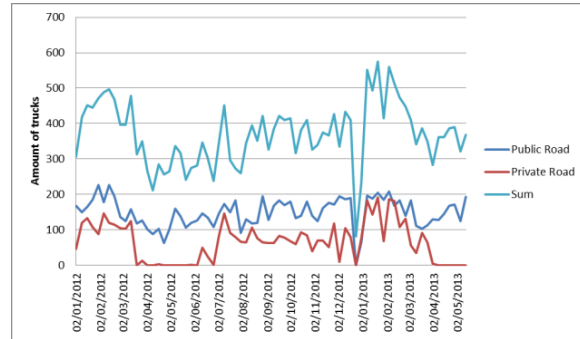


Figure 1: Seasonal variability of supply truck arrivals

Data concerning the arrival location and time of every type of delivery truck should be collected in order to later build the simulation model. This data can generally be obtained at the scaling database and converted to volume measurements. Truck loads statistics are also very useful in order to build the simulation model.

### 3.3 Handling Activities

Once they arrive at the log yard, different raw material types have to undergo various handling activities. This section is dedicated to summarizing the different activities that are carried out within the log yard that was studied. Since many softwood lumber mills use very similar processes for their yards, the case study may be used as an example for a typical log yard. The following Figure 2 summarizes the main handling activities within the studied log yard.

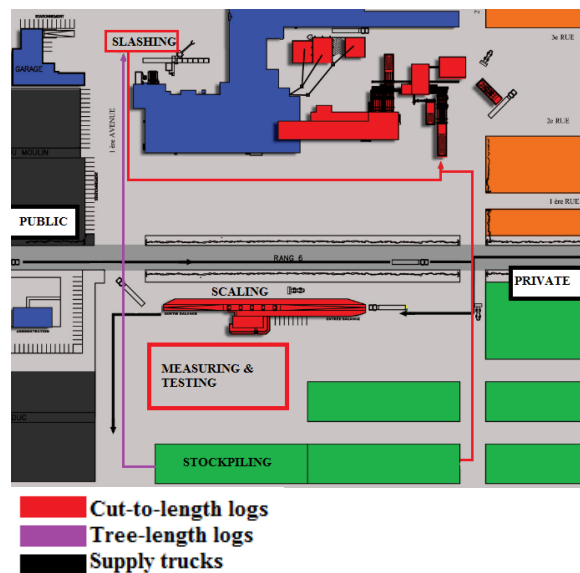


Figure 2: Handling activities

The first activity is the scaling process. Supply trucks need to be scaled at their arrival and before leaving the log yard. The data regarding nature of materials, weights, processing times and arrival rates are available in a centralized database.

<sup>2</sup> Slashing is a transversal cutting process to shorten logs to a desired length.

The second type of handling activity within the log yard is measuring and testing of all types of logs. This is done by systematically measuring a certain percentage of the volume that goes through the scaling process within the yard.. A measuring worker is stationed in an area intended for this purpose and measures individual log's dimensions from a truckload sample. From time to time, the worker must walk to the scaling area to measure there, due to internal regulations. For this reason, it is desirable that the log measuring areas be close to the scale.

The next activities are truck unloading and log stockpiling. Delivery trucks coming from both public and private roads are unloaded and their contents are added to same-type stockpiles. Handling machinery is used in order to unload the trucks. When emptied,, the trucks go back to the scale to be weighed again, then leave the log yard.

The final activity depends on the type of log being handled. If the logs are tree-length, they first need to be converted to CTL logs at the slashing station. The CTL logs are then brought directly to the lumber mill, where they are processed and transformed into planks. For LD logs, the process is the same as CTL logs, but they are brought to the entrance close to the slashing station.

### 3.4 Handling Vehicles

Many types of handling machinery exist, each with their own advantages and disadvantages. This section describes the main categories of equipment and machinery. Most of the data that was collected regarding handling machinery was obtained by reading previous studies (Tran, 2008) regarding equipment efficiency in log yards.

First of all, front-end loaders (such as the Cat IT62 and the Volvo L150) generally have very good speeds (up to 25 km/h) and versatility, thus making them ideal for supplying the sawmill with wood. This is due to the fact that they can go back and forth between the lumber mill and stockpiles in a short time. They also have very short loading and unloading times; because all they have to do is fill their small grapple. However, this also causes them to have very limited volume capacity, making them only efficient on short distances. Reducing travel distance not only reduces equipment cycle times, but also greatly reduces operating costs due to reduced fuel consumption and vehicle wear. They are also very limited in weight capacity, so they cannot handle tree-length logs. Moreover, their height reach is very limited, reaching only about 10 to 12 ft. in height. If the log pile height exceeds its range, other equipment with higher reach must divide the piles in order to make them accessible for the front-end loader.

Log loaders (such as the Tanguay LL228 and the Tanguay WL430) are much slower machinery than front-end loaders (reaching velocities between 5 and 7 km/h).

However, their grapples are more delicate with the logs compared to front loaders, and thus reduce the risk of damaging the raw materials. They also have a much higher reach than front loaders, which makes them ideal for truck unloading, log stockpiling and preparing samples for measurements and testing. However, their loading and unloading times are much slower than the front-end loader. This is due to the fact that stabilizers have to be enabled every time the equipment goes from movement mode to unloading mode. They can also be used for supplying the lumber mill with logs, but only when a container is attached. This improves their handling efficiency since it ensures that the volume of raw materials transported per trip compensates for their very slow speeds. If they were to be used for supplying the mill, it would then make sense for them to carry larger volumes across a larger distance.

Finally, the third type of equipment to be analyzed in this study is the truck-mounted log loaders. They generally have very similar properties to other log loaders, but have slightly faster movement speeds (7 to 8 kilometers per hour when loaded). Truck-mounted log loaders also have containers attached to them by default, which can carry up to about 40 cubic meters of TL logs, or up to about 20 cubic meters of CTL logs. At the studied log yard, they are mainly used to supply the slashing station, or to unload trucks directly at the slashing station. Their use is very similar to log loaders, since both need stabilizers to start loading and unloading, and are more delicate with log handling compared to front-end loaders (which need to do a pushing movement on the pile to load, risking to damage logs).

As found in the previous studies regarding handling equipment efficiencies (Tran, 2008), Table 1 shows the average data for speeds, loading times, unloading times and truck unloading times (when applicable).

Equipment	Speed (km/h)	Volume (m <sup>3</sup> )	Load Time (min)	Unload Time (min)	Truck Unload Time (min)
Front-end loader	25	8.87	0.4	0.2	N/A
Truck-mounted	7	40	7.6	5.4	11.2
Log loader 1	4	0	7.9	11.4	13.3
Log loader 2	5.2	0	1.7	5.8	15.7

Table 1: Handling equipment properties

Using all the data collected in this first phase of the methodology, there is enough understanding of the system to start modeling the material flow throughout the yard.

## 4 MATERIAL FLOW MODELING

Once the activities, resources and handling machinery options are known, the next step of the methodology is to map the activities occurring inside the log yard and quantify their interactions in terms of volume flow. This is used in order to identify on which handling activities

the efforts should be focused while developing preliminary plans.

In the case specific to this study, the interactions between every activity are represented by a Process Flow Diagram as shown in Figure 3. The diagram reveals every flow by a percentage of the total volume. Using this as a condition to be met, the required volume movement across each activity is determined.

Figure 3 shows that the most important flow interactions are between the CTL stockpiling and processing (90.4% of total flow), as well as between the TL stockpiling and slashing (49.3% of total flow).

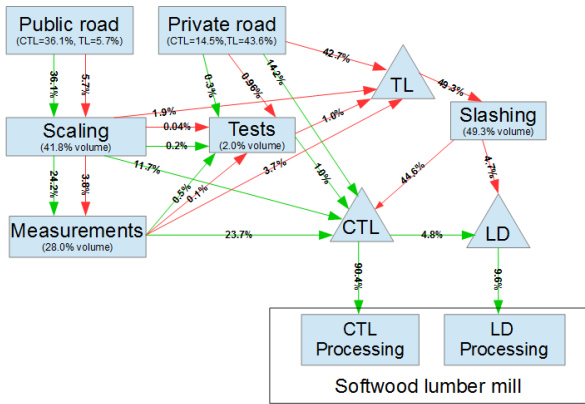


Figure 3: Process Flow Diagram of the Quebec case example

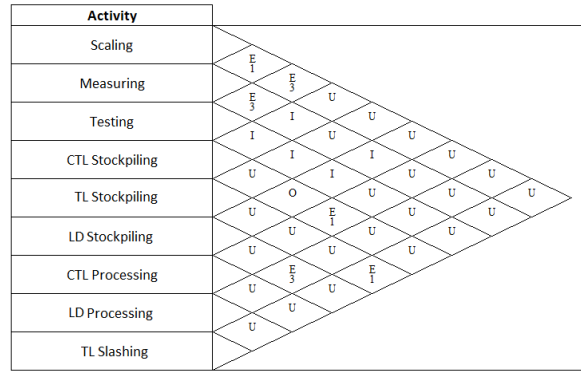
The following conclusions were made after analysing the process flow diagram:

- 1) CTL processing and CTL stockpiling must be as close to each other as possible (90.4% vol.).
- 2) TL processing and slashing must be as close to each other as possible (49.3% vol.).
- 3) TL slashing must be close to CTL stockpiling and/or CTL processing (44.6% vol.).

## 5 FLOW RELATIONSHIP DIAGRAM

In order to assess flow priorities, it is useful to build a Flow Relationship Diagram. The diagram rates each activity combination, according to frequency of use and rating of importance. The ratings found in the diagram are based on the conclusions of the Flow Process Diagram analysis. Figure 4 shows the Flow Relationship Diagram that was built for the case of study.

For every flow relationship between activities, a rating is given in terms of its importance (a legend is shown in the figure) and, when deemed relevant, a code is given to represent its frequency (from 1 being high to 3 being low).



Code	Reason	Rating	Definition
1	Frequency of use high	A	Absolutely Necessary
2	Frequency of use medium	E	Especially Important
3	Frequency of use low	I	Important
		O	Ordinary Closeness OK
		U	Unimportant
		X	Undesirable

Figure 4: Flow Relationship Diagram

From this diagram, we can see that the most important relationships are the following:

- 1) Scaling and Measuring must be close: Especially Important and High frequency of use.
- 2) CTL Stockpiling and CTL Processing must be close: Especially Important and High frequency of use.
- 3) TL Stockpiling and Slashing must be close: Especially Important and High frequency of use.
- 4) Testing should be close to both Measuring and Scaling (rated as Especially Important). However, the frequency of use is very low since it only represents 2% of the total volume.
- 5) LD Stockpiling and LD Processing should be close (Especially Important) but the frequency of use is rather low, standing at around 9% of the total volume.

Conclusions 2 and 3 confirm some assertions made using the flow process diagram. However, in contrast to the flow process diagram, the relationship diagram is used to identify preferred closeness between activities, especially for cases where the volume going through these activities is not particularly high.

## 6 DETERMINATION OF REQUIRED SPACE FOR EACH ACTIVITY

In order to evaluate the required space for each activity, the volume of raw materials inflowing and outflowing per unit of time must be determined. Some activities have fixed areas, such as the scale and slashing station. Other activities are more flexible and their required space varies over time. For example, specifically for the studied case, TL stockpiling will require a larger volume during its peak arrival rates between January and March of every year, which will then slowly decrease at a relatively constant rate until the end of the summer.



Since the allocation of space for each activity is not only dependent on the area needs, but also strongly relies on the availability of storage area, we can think of this step as balancing needs with capacity. If the total storage capacity for the log yard is known, then it is possible to estimate the required area in function of the total volume.

For example, the studied log yard storage capacity is of approximately 120,000 cubic meters, which was considered to be beyond storage requirements. Thus, since 50.7% of the volume is CTL logs, then 50.7% of the total storage capacity can be safely dedicated to CTL stockpiling. Granted that the storage capacity exceeds requirements, this method allows for flexibility in cases where resource supply increases unpredictably for a certain period. Many other methods for space requirement calculations already exist and can also be used.

Please note that the overall space that is needed for stockpiling greatly depends on the pile heights, which in turn is dependent on the handling machinery decisions. If a front-end loader is chosen to supply the wood to the lumber mill, then pile heights must be lowered (either by using another equipment to divide the piles as they are consumed, or by lowering the standard pile height).

Knowing the required space for each activity individually as well as the flow relationship priorities, it now becomes possible to start constructing preliminary plans.

## 7 DEVELOPMENT OF PRELIMINARY PLANS

In this phase of the methodology, since a layout is rarely started from the ground up, it is important to consider the different layout constraints that might be present at the time of restructuring the log yard. Indeed, some stations might be impossible to move around or remove due to logistical and/or financial reasons. They then become layout constraints and the methodology user must find a way to work around them.

Generally, the steps to follow in order to develop a preliminary plan are:

- Identify available areas for activities on the plan
- Immediately insert layout constraints on the plan
- Gradually insert blocks corresponding to allocated space for each activity
  - o The area of each block is determined by the previous step in the methodology
  - o Start by the most important and frequent flow relationships as indicated by the Flow Relationship Diagram

Using this method for the study case, there were many layout constraints to work around.

First, the scale must be located just south of the road, and must be parallel to it. Second, the slashing station must be located north west of the log yard. Finally, there must be a truck waiting area just north of the road. The resulting preliminary plan is shown in Figure 4.

Considering these limiting layout constraints, there seemed to be one logical plan:

- Since front-end loaders appear to be the best equipment for short-distance travels and can only handle CTL logs, CTL stockpiles had to be closer to CTL processing (since 90.4% of the total volume, including the results from TL slashing, is processed there);
- Scaling, measuring and testing were positioned closer to each other (with measuring and testing being centralized into a single activity area);
- TL stockpiles were located further away from the sawmill and slashing station, because the main handling equipment types that could handle TL logs work best for long distance travels with larger volumes;
- Most stockpiles (both TL and CTL) are located relatively close to one another in order to reduce distance traveled for log loaders, which will be used to unload trucks in the designed log piling areas.



Figure 5: Example of preliminary plan

In addition to layout constraints, there are some factors which can make or break a log yard layout that design methodologies can hardly assess, due to the fact that they are difficultly quantifiable. However it is very important to consider them separately in order to have a sustainable log yard. The factors taken into account for the purpose of this study are the adaptability to change, the overall noise, safety, as well as drainage.

The first factor is adaptability to change and is an important factor to consider because supply and demand is variable. The inflow of raw materials can vary greatly from season to season and from year to year, and the log yard must be able to adapt to this phenomenon. Adaptability, in this context, should be measured with pre-treatment storage capacity and peak machinery work capacity.

The second factor is noise and should be taken into account especially if the mill is located very close to residential areas. Since some operations can make a lot of noise, there is a need to make sure that the noise is minimized as much as possible in order to reduce the inconveniencing of citizens living nearby. For this reason, noise-cancelling walls were added to the preliminary plan illustrated in Figure 5.

The third factor is log yard safety. The layout must ensure that operators and supervisors can move around by foot safely. Since log piles may obstruct the line of sight of machinery operators, it is imperative to design the log yard in such a way that hazardous situations be avoided. This can be done, for example, by reducing pile height, or by designing dedicated roads or pathways for pedestrian movement.

The final factor is drainage and is a critical factor to consider in regions where there is a lot of snow or rain. Indeed, if there is no effective drainage system implemented in the log yard, mud spots can form and contaminate the logs, which will become harder to process inside the mill.

During the course of this study, one layout constraint in particular raised our attention. Indeed, by looking at the flow process and flow relationship diagrams, it would have made sense in terms of flow management to have the slashing station be located south east of the log yard (as illustrated in Figure 6), where most of the TL logs are delivered through the dirt road. In the long term, it seemed that it would have been beneficial to move the slashing station there, because it is functioning independently from the lumber mill. Also, the slashing output could directly be stored in nearby CTL stockpiles. Finally, noise-cancelling walls would not be needed anymore, since their primary purpose was to cancel the noise produced by the slashing station.



Figure 6: Preliminary plan - slashing station moved

Once the preliminary plan(s) are constructed, the next step is to evaluate them using simulation modeling software such as SIMIO (by Simio LLC). Note that the amount of preliminary plans can vary greatly depending on the project and layout constraints.

## 8 EVALUATION OF PLANS USING SIMULATION MODELING

The final step in the proposed methodology is to evaluate the preliminary plan(s) using discrete-event simulation software. Before the simulation model is described, key performance indicators are to be established. Also, since there is only one type of preliminary layout, the different scenarios to be compared are different combinations of handling vehicles and corresponding tasks. The handling vehicles used in the simulation models are: one (1) front-end loader, two (2) log loaders and one (1) truck-mounted log loader. The different scenarios that were compared included varying speeds and volume capacities corresponding to each vehicle.

Moreover, since the flow analysis showed that it would be beneficial to move the slashing station to the south-eastern part of the log yard, a duplicate of each scenario was made, however this time moving the slashing station around to witness the effects on the overall performance of the log yard.

Finally, inter-arrival rates of the delivery trucks were edited to correspond to different seasons of the year (winter for high utilization, and spring for low utilization), assisting in identifying potential redundant capacity for the handling machinery.

### 8.1 Key Performance Indicators (KPI)

In order to evaluate performance statistics of each plan, these key performance indicators were considered the most relevant:

- Average Time in System (for delivery trucks)
- Scheduled Time Utilization (for each handling vehicle)
- Total Distance Traveled (for each handling vehicle)
- Amount of shortages at sawmill CTL processing entry (Critical KPI, since even one shortage results in substantial costs)

At the log yard's supplier's level, it is important for the average time in the system of their delivery trucks to be minimized. This KPI will help contrast the performance of each scenario in this aspect.

The three main KPIs for layout performance in the log yard layout are the utilization rates of each handling vehicle, as well as their total distance traveled and the amount of shortages at the lumber mill production line. Measuring utilization rates of each handling vehicle makes sure that they are not over utilized during peak times of the year, and then underutilized when the demand in work capacity is lower. The decision makers might prefer to choose an equipment combination where the system is less effective during peak times but less



underutilized during slower times. This allows for potential operational strategy adjustments.

## 8.2 Simulation Model

The following section provides a brief summary of how the simulation model was built and executed. The model was built using SIMIO. The simulation model can be simplified into four main parts, which are:

- 1) Modeling the raw material arrivals (dependent on the time of day and day of the week)
- 2) Modeling the handling activities (measuring, scaling, etc.)
- 3) Modeling the activity sequences (e.g. for each supply truck coming in)
- 4) Modeling the equipment logic (how handling machinery priorities and activities are managed)

Firstly, each type of supply truck (each delivering a different type of wood) has their inter-arrival time modeled independently. These inter-arrival times vary depending on the time of the year (seasonal variability), but also depend on the day of the week and time of day. For example, trucks coming from the private roads originate from Maine, USA. These are dependent on the border control hours, which then mean there are peaks in arrival rates at around 8:00am and early in the afternoon, as shown in Figure 7.

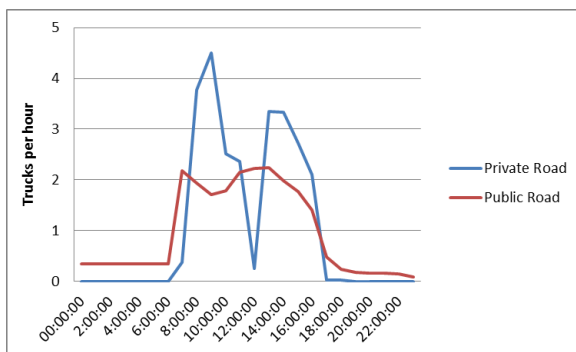


Figure 7: Example of varying inter-arrival rates for a given day

Moreover, delivery trucks arrive mostly during open working days, on Monday through Friday, with the last day of the working week being a little bit less busy than the other weekdays. As shown in Figure 8, overall activity is extremely low during the weekend.

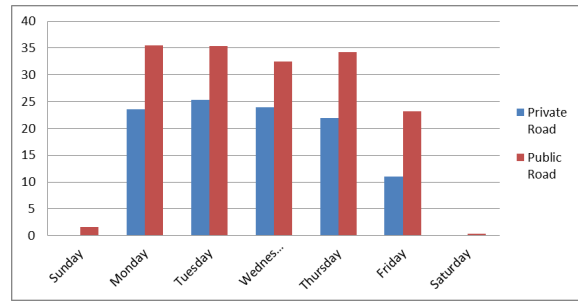


Figure 8: Example of varying number of trucks per day for a given week

Secondly, the handling activities within the log yard were modeled as processes with processing times obtained from databases and time studies. The handling and unloading machinery was modeled to have the properties as shown in Table 1 of the current paper. These properties were modified for the sake of sensitivity analysis, and also to correspond to potential replacement purchases that could be made in order to improve overall log yard performance.

Thirdly, in order to build the sequence of activities each incoming delivery truck must follow, the simulation model was created in a way that flow quantities respect the Process Flow Diagram illustrated in Figure 2. Each time a new delivery truck entity is created, the sequence is determined randomly at the time of its arrival, with probabilities corresponding to the percentage of flow. For example, 100% of the public road trucks delivering CTL logs go to scaling, then approximately 67% of these trucks go to measuring (24.2/36.1), and so forth. Then, once the sequence of activities for each incoming truck is decided, they follow the assigned path and undergo all of the processes that are prescribed by the sequence.

Finally, the equipment logic is as follows:

- Both log loaders unload incoming delivery trucks in a First In First Out (FIFO) single-queue (and only one log loader is needed per truck)
- The truck-mounted log loader is in charge of supplying the slashing station with TL logs and taking its resulting CTL logs to bring them to the CTL processing entry, or to a CTL stockpile.
  - o The slashing station entry has a capacity of 100 cubic meters and a re-order point of 20 cubic meters.
  - o When this threshold is reached, the truck-mounted loader must increase the entry volume up to 60 cubic meters or more.
- The front-end loader is mainly in charge of supplying the CTL processing entry with CTL logs, but also is in charge of taking the LD logs to the LD stockpiles (LD processing works independently from the lumber mill).

- The CTL processing entry has a capacity of 80 cubic meters and a re-order point of 20 cubic meters.
- When this threshold is reached, the front-end loader must increase the entry volume up to 70 cubic meters or more.
- Both the CTL entry and slashing station exit have maximum volume thresholds for LD logs of 20 cubic meters. When such thresholds are reached, the front-end loader must fetch these logs until their respective volumes are empty.

Once these four main parts of the model are built, a complete simulation model is obtained (as illustrated in Figure 9).

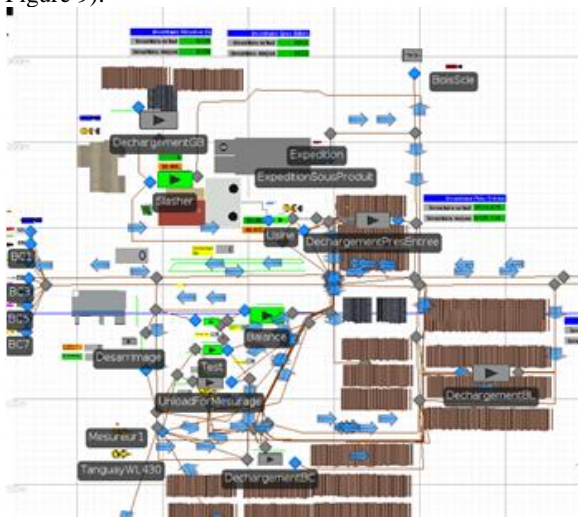


Figure 9: Simulation model screenshot

### 8.3 Experiment parameters and results summary

Since only one design layout was deemed promising by the company, the simulation experiments were carried out only with varying equipment combinations. Each scenario was evaluated for the winter (high utilization and arrival rates) and spring (low utilization and arrival rates) seasons, with 50 replications per experiment.

The following table (Table 2) shows a sample of results that were observed while running experiments with the simulation model. This table shows results for the Scheduled Time Utilization and Total Distance Traveled key performance indicators.

The scenarios identified with an asterisk correspond to a layout where the slashing station is moved as suggested by the material flow modeling and relationship diagram.

Scenario	Winter	Winter*	Spring	Spring*
Weekly avg. msmnts	94.42	93.44	93.46	95.4
Weekly avg. tests	5.46	6.04	3.58	3.18
Truck-mounted utilization (%)	105.45	101.7	105.44	101.7
Truck-mounted distance (km)	126.21	29.9	129.21	29.9
Loader 1 utilization (%)	81.42	80.55	56	56.4
Loader 1 distance (km)	32.64	31.78	16.26	16.24
Loader 2 utilization (%)	75.85	75.41	40.73	41.57
Loader 2 distance (km)	32.31	31.21	12.5	12.82

Table 2: Sample of results for one simulation experiment

The first two rows indicate the average weekly amount of measurements and tests that need to be done, while the other rows show the utilization rate (in percentages) and weekly distance traveled (in kilometers) for each equipment used in the experiment.

A noticeable improvement from relocating the slashing station is the reduced total distance traveled by the truck-mounted loader, which is reduced by over 75%. The simulation experiments also show that this equipment is over utilized (with seize requests exceeding capacity by 1.7 to 5.45%), and thus task assignments for the handling machinery should be revised. Moreover, the results show that during spring, utilization rates for the two log loaders are much lower, which means that one of the two machines could potentially be turned off during this season in order to lower costs, and act as a backup in case of emergencies.

After relevant conclusions are drawn from this experiment's results, changes can be made in order to iteratively improve performance, and finally the process can be repeated until a satisfactory layout is obtained.

## 9 DISCUSSION

In an effort to improve the evaluation of log yard performance, a log yard layout procedure was carried out using discrete-event simulation as primary evaluation tool. This simulation model, which was built exclusively for the purpose of this study, could potentially be used as a more general model for other companies provided their handling activities and raw material profiles are similar. The model was validated by comparing its results with observations on the field (for the initial situation) and also by comparing with pre-existing equipment data. Once validated, the simulation model was used by the company to draw conclusions on equipment alternatives. In any case, using discrete-event simulation to evaluate log yard performance gave insight on better localizations of log stockpiling areas and equipment utilization. These characteristics could hardly be assessed by previously available methodologies found in the literature.

Still, the proposed enhancement to the evaluation of plans adds credibility to log yard design planning, while also allowing for safe experimentations to be made before implementation.

However, a simulation model can only be as good as the data that is used to build it. Our experiment would benefit from obtaining more complete data over several seasons of operations, for example.

Moreover, further research could be done in order to include all design and operation sub-problems, particularly the operation strategies (random, dedicated, FIFO, etc.) which were not taken into account in this study.

## 10 CONCLUSION

In conclusion, this study has assisted in ascertaining a problem with currently available log yard design strategies, which is that they barely allow for evaluation to be conducted on their design performance.

In an attempt to solve this problem, a design procedure was used and adapted using simulation software for the evaluation of log yard performance. This updated design methodology was then carried out in partnership with a softwood lumber mill company in order to test its feasibility.

Undeniably, the results obtained through the simulation models guided decision makers with their layout design strategy, as well as with screening between alternatives for new equipment. Upon assessing the methodology, they based their acquisitions on the experiments' results.

By presenting the dynamics and actual movements within the log yard, using discrete-event simulation modeling in design methodologies incorporates the design and operation sub-problems identified in literature. This shows that updating layout strategies by adding such evaluation tools might be a potential solution to the problem, as presented by this study which acts as a proof of concept towards a new formalized methodology.

Nevertheless, additional experimentation within the forest industry needs to be completed in order to validate whether discrete-event simulation is a worthwhile tool for evaluating the performance of log yard designs.

## REFERENCES

Abdulmalek, F. A., and Rajgopal, J., 2007, Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: a process sector case study. *International Journal of production economics*, 107(1), 223-236.

Baker, P., and M. Canessa, 2009, Warehouse design: A structured approach, *European Journal of Operational Research*, 193(2), p. 425-436.

Berg van den, J.P. and W.H.M. Zijm, 1999, Models for warehouse management: classification and examples, *International Journal of Production Economics*, 59(1), p. 519-528.

D'Amours, S., M. Rönnqvist and A. Weintraub, 2008, Using operational research for supply chain planning in the forest products industry, *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 46(4), p. 265-281.

Demers, P. A., K. Teschke, H. W. Davies, S. M. Kennedy and V. Leung, 2000, Exposure to dust, resin acids, and monoterpenes in softwood lumber mills, *AIHAJ-American Industrial Hygiene Association*, 61(4), p. 521-528.

Gautam, S., L. LeBel and D. Beaudoin, 2013, Agility capabilities in wood procurement systems: a literature synthesis, *International Journal of Forest Engineering*, 24(3), p. 216-232.

Govers, C. P., 1996, What and how about quality function deployment (QFD). *International journal of production economics*, 46, 575-585.

Gu, J., M. Goetschalckx, L.F. McGinnis, 2007, Research on warehouse operation: A comprehensive review, *European Journal of Operational Research*, 177(1), p. 1-21.

Hampton, C. M., 1981, *Dry Land Log Handling and Sorting: Planning, Construction and Operation of Log Yards*, San Francisco, USA, Miller Freeman Publications, Inc.

Irani, S. A., and Zhou, J., 2000, Value Stream Mapping of a Complete Product. *Department of Industrial, Welding and Systems Engineering, The Ohio State University, Columbus, OH*, 43210.

Koehncke, N., M. Taylor, C. Taylor, L. Harman, P.A. Hessel, P. Beaulne and T. Guidotti, An investigation of noise levels in Alberta sawmills. *American journal of industrial medicine*, 43(2), p. 156-164.

Pepper, M. P. J., and Spedding, T. A., 2010, The evolution of lean Six Sigma. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(2), 138-155.

Rouwenhorst, B., B. Reuter, V. Stockrahm, G.J. van Houtum, R.J. Mantel and W.H.M. Zijm, 2000, Warehouse design and control: Framework and literature review, *European Journal of Operational Research*, 122(3), p.515-533.

Tran, E., 2008, *Efficacité d'utilisation des chargeuses dans les parcs à bois: quatre études de cas*, Rapports Avantage (FERIC), Région de l'Est, Québec, Canada.

Wasserman, G. S., 1993, On how to prioritize design requirements during the QFD planning process. *IIE transactions*, 25(3), 59-65.

## Annexe B

# Intrants du modèle de simulation de la cours de bois rond

### B.1 Durées de déchargement des camions

TABLE B.1 – Expressions aléatoires de durées de déchargement des camions.

<b>Camion</b>	<b>ProcessingTime</b>
BL_Publique	Random.Triangular(11.93,13.38,15.8)
Billot8pi	Random.Triangular(10.28,10.69,11.38)
Billot9pi	Random.Triangular(10.64,11.6,13.21)
Billot10pi	Random.Triangular(10.24,10.6,11.2)
Billot89pi	Random.Triangular(10.38,10.95,11.89)
BTPATE	Random.Triangular(10.29,10.74,11.49)
BC_Publique	Random.Triangular(10.87,12.17,14.33)
BC_Privee	Random.Triangular(11.65,14.12,18.23)
BL_Privee	Random.Triangular(13.59,16.28,20.77)

## B.2 Taux d'arrivées par heure moyens des camions

### B.2.1 Camions de cèdre

TABLE B.2 – Taux d'arrivées moyen par heure pour les camions de cèdre.

Heure début	Heure fin	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam
0 :00 :00	1 :00 :00	0.0003	0.0198	0.0196	0.0249	0.0257	0.0149	0.0000
1 :00 :00	2 :00 :00	0.0003	0.0198	0.0196	0.0249	0.0257	0.0149	0.0000
2 :00 :00	3 :00 :00	0.0003	0.0198	0.0196	0.0249	0.0257	0.0149	0.0000
3 :00 :00	4 :00 :00	0.0003	0.0198	0.0196	0.0249	0.0257	0.0149	0.0000
4 :00 :00	5 :00 :00	0.0003	0.0198	0.0196	0.0249	0.0257	0.0149	0.0000
5 :00 :00	6 :00 :00	0.0003	0.0198	0.0196	0.0249	0.0257	0.0149	0.0000
6 :00 :00	7 :00 :00	0.0003	0.0198	0.0196	0.0249	0.0257	0.0149	0.0000
7 :00 :00	8 :00 :00	0.0052	0.3350	0.3320	0.4212	0.4361	0.2527	0.0000
8 :00 :00	9 :00 :00	0.0037	0.2403	0.2382	0.3022	0.3129	0.1813	0.0000
9 :00 :00	10 :00 :00	0.0016	0.1020	0.1011	0.1282	0.1327	0.0769	0.0000
10 :00 :00	11 :00 :00	0.0032	0.2112	0.2093	0.2656	0.2749	0.1593	0.0000
11 :00 :00	12 :00 :00	0.0038	0.2476	0.2454	0.3114	0.3223	0.1868	0.0000
12 :00 :00	13 :00 :00	0.0039	0.2549	0.2526	0.3205	0.3318	0.1923	0.0000
13 :00 :00	14 :00 :00	0.0048	0.3132	0.3104	0.3938	0.4077	0.2363	0.0000
14 :00 :00	15 :00 :00	0.0048	0.3132	0.3104	0.3938	0.4077	0.2363	0.0000
15 :00 :00	16 :00 :00	0.0028	0.1821	0.1805	0.2289	0.2370	0.1374	0.0000
16 :00 :00	17 :00 :00	0.0029	0.1894	0.1877	0.2381	0.2465	0.1429	0.0000
17 :00 :00	18 :00 :00	0.0007	0.0437	0.0433	0.0549	0.0569	0.0330	0.0000
18 :00 :00	19 :00 :00	0.0001	0.0073	0.0072	0.0092	0.0095	0.0055	0.0000
19 :00 :00	20 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20 :00 :00	21 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21 :00 :00	22 :00 :00	0.0001	0.0073	0.0072	0.0092	0.0095	0.0055	0.0000
22 :00 :00	23 :00 :00	0.0002	0.0146	0.0144	0.0183	0.0190	0.0110	0.0000
23 :00 :00	0 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

## B.2.2 Camions de sous-produits

TABLE B.3 – Taux d’arrivées moyen par heure pour les camions de sous-produits de sciage.

Heure début	Heure fin	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam
0 :00 :00	1 :00 :00	0.0767	0.8529	0.9063	0.8779	0.9403	0.8303	0.0238
1 :00 :00	2 :00 :00	0.0767	0.8529	0.9063	0.8779	0.9403	0.8303	0.0238
2 :00 :00	3 :00 :00	0.0767	0.8529	0.9063	0.8779	0.9403	0.8303	0.0238
3 :00 :00	4 :00 :00	0.0767	0.8529	0.9063	0.8779	0.9403	0.8303	0.0238
4 :00 :00	5 :00 :00	0.0767	0.8529	0.9063	0.8779	0.9403	0.8303	0.0238
5 :00 :00	6 :00 :00	0.0767	0.8529	0.9063	0.8779	0.9403	0.8303	0.0238
6 :00 :00	7 :00 :00	0.0767	0.8529	0.9063	0.8779	0.9403	0.8303	0.0238
7 :00 :00	8 :00 :00	0.1767	1.9657	2.0887	2.0234	2.1672	1.9136	0.0549
8 :00 :00	9 :00 :00	0.1800	2.0023	2.1277	2.0611	2.2076	1.9493	0.0559
9 :00 :00	10 :00 :00	0.1708	1.8996	2.0186	1.9554	2.0944	1.8493	0.0531
10 :00 :00	11 :00 :00	0.1339	1.4889	1.5821	1.5326	1.6415	1.4495	0.0416
11 :00 :00	12 :00 :00	0.1358	1.5109	1.6055	1.5553	1.6658	1.4709	0.0422
12 :00 :00	13 :00 :00	0.1213	1.3496	1.4341	1.3892	1.4879	1.3138	0.0377
13 :00 :00	14 :00 :00	0.1352	1.5036	1.5977	1.5477	1.6577	1.4637	0.0420
14 :00 :00	15 :00 :00	0.1418	1.5769	1.6757	1.6232	1.7386	1.5351	0.0440
15 :00 :00	16 :00 :00	0.1629	1.8116	1.9251	1.8648	1.9973	1.7636	0.0506
16 :00 :00	17 :00 :00	0.1543	1.7163	1.8237	1.7667	1.8922	1.6708	0.0479
17 :00 :00	18 :00 :00	0.1088	1.2102	1.2860	1.2457	1.3343	1.1781	0.0338
18 :00 :00	19 :00 :00	0.0719	0.7995	0.8495	0.8229	0.8814	0.7783	0.0223
19 :00 :00	20 :00 :00	0.0692	0.7701	0.8183	0.7927	0.8491	0.7497	0.0215
20 :00 :00	21 :00 :00	0.0837	0.9315	0.9898	0.9588	1.0270	0.9068	0.0260
21 :00 :00	22 :00 :00	0.0910	1.0122	1.0755	1.0419	1.1159	0.9853	0.0283
22 :00 :00	23 :00 :00	0.0917	1.0195	1.0833	1.0494	1.1240	0.9925	0.0285
23 :00 :00	0 :00 :00	0.0343	0.3814	0.4053	0.3926	0.4205	0.3713	0.0107

### B.2.3 Camions de bois court (route publique)

TABLE B.4 – Taux d’arrivées moyen par heure pour les camions de bois court (route publique).

Heure début	Heure fin	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam
0 :00 :00	1 :00 :00	0.0119	0.4252	0.3938	0.3932	0.3914	0.2720	0.0030
1 :00 :00	2 :00 :00	0.0119	0.4252	0.3938	0.3932	0.3914	0.2720	0.0030
2 :00 :00	3 :00 :00	0.0119	0.4252	0.3938	0.3932	0.3914	0.2720	0.0030
3 :00 :00	4 :00 :00	0.0119	0.4252	0.3938	0.3932	0.3914	0.2720	0.0030
4 :00 :00	5 :00 :00	0.0119	0.4252	0.3938	0.3932	0.3914	0.2720	0.0030
5 :00 :00	6 :00 :00	0.0119	0.4252	0.3938	0.3932	0.3914	0.2720	0.0030
6 :00 :00	7 :00 :00	0.0119	0.4252	0.3938	0.3932	0.3914	0.2720	0.0030
7 :00 :00	8 :00 :00	0.0753	2.6884	2.4897	2.4859	2.4745	1.7195	0.0191
8 :00 :00	9 :00 :00	0.0665	2.3742	2.1987	2.1953	2.1852	1.5186	0.0168
9 :00 :00	10 :00 :00	0.0587	2.0949	1.9400	1.9371	1.9282	1.3399	0.0149
10 :00 :00	11 :00 :00	0.0577	2.0600	1.9077	1.9048	1.8960	1.3176	0.0146
11 :00 :00	12 :00 :00	0.0714	2.5488	2.3604	2.3568	2.3459	1.6302	0.0181
12 :00 :00	13 :00 :00	0.0687	2.4528	2.2715	2.2680	2.2575	1.5688	0.0174
13 :00 :00	14 :00 :00	0.0692	2.4702	2.2876	2.2841	2.2736	1.5800	0.0175
14 :00 :00	15 :00 :00	0.0621	2.2171	2.0532	2.0501	2.0406	1.4181	0.0157
15 :00 :00	16 :00 :00	0.0580	2.0687	1.9158	1.9129	1.9041	1.3232	0.0147
16 :00 :00	17 :00 :00	0.0411	1.4664	1.3580	1.3559	1.3497	0.9379	0.0104
17 :00 :00	18 :00 :00	0.0174	0.6197	0.5739	0.5730	0.5704	0.3964	0.0044
18 :00 :00	19 :00 :00	0.0068	0.2444	0.2263	0.2260	0.2250	0.1563	0.0017
19 :00 :00	20 :00 :00	0.0064	0.2269	0.2102	0.2098	0.2089	0.1452	0.0016
20 :00 :00	21 :00 :00	0.0044	0.1571	0.1455	0.1453	0.1446	0.1005	0.0011
21 :00 :00	22 :00 :00	0.0051	0.1833	0.1698	0.1695	0.1687	0.1172	0.0013
22 :00 :00	23 :00 :00	0.0042	0.1484	0.1374	0.1372	0.1366	0.0949	0.0011
23 :00 :00	0 :00 :00	0.0034	0.1222	0.1132	0.1130	0.1125	0.0782	0.0009

## B.2.4 Camions de bois long (route publique)

TABLE B.5 – Taux d’arrivées moyen par heure pour les camions de bois long (route publique).

Heure début	Heure fin	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam
0 :00 :00	1 :00 :00	0.0000	0.0580	0.0617	0.0536	0.0487	0.0384	0.0000
1 :00 :00	2 :00 :00	0.0000	0.0580	0.0617	0.0536	0.0487	0.0384	0.0000
2 :00 :00	3 :00 :00	0.0000	0.0580	0.0617	0.0536	0.0487	0.0384	0.0000
3 :00 :00	4 :00 :00	0.0000	0.0580	0.0617	0.0536	0.0487	0.0384	0.0000
4 :00 :00	5 :00 :00	0.0000	0.0580	0.0617	0.0536	0.0487	0.0384	0.0000
5 :00 :00	6 :00 :00	0.0000	0.0580	0.0617	0.0536	0.0487	0.0384	0.0000
6 :00 :00	7 :00 :00	0.0000	0.0580	0.0617	0.0536	0.0487	0.0384	0.0000
7 :00 :00	8 :00 :00	0.0000	0.3628	0.3861	0.3353	0.3048	0.2404	0.0000
8 :00 :00	9 :00 :00	0.0000	0.3109	0.3309	0.2874	0.2612	0.2061	0.0000
9 :00 :00	10 :00 :00	0.0000	0.3282	0.3493	0.3033	0.2758	0.2175	0.0000
10 :00 :00	11 :00 :00	0.0000	0.3196	0.3401	0.2954	0.2685	0.2118	0.0000
11 :00 :00	12 :00 :00	0.0000	0.3628	0.3861	0.3353	0.3048	0.2404	0.0000
12 :00 :00	13 :00 :00	0.0000	0.5614	0.5975	0.5189	0.4717	0.3721	0.0000
13 :00 :00	14 :00 :00	0.0000	0.5614	0.5975	0.5189	0.4717	0.3721	0.0000
14 :00 :00	15 :00 :00	0.0000	0.3282	0.3493	0.3033	0.2758	0.2175	0.0000
15 :00 :00	16 :00 :00	0.0000	0.2850	0.3033	0.2634	0.2395	0.1889	0.0000
16 :00 :00	17 :00 :00	0.0000	0.2505	0.2666	0.2315	0.2104	0.1660	0.0000
17 :00 :00	18 :00 :00	0.0000	0.0259	0.0276	0.0239	0.0218	0.0172	0.0000
18 :00 :00	19 :00 :00	0.0000	0.0173	0.0184	0.0160	0.0145	0.0114	0.0000
19 :00 :00	20 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20 :00 :00	21 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21 :00 :00	22 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22 :00 :00	23 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23 :00 :00	0 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000



## B.2.5 Camions de BILLOT8PI

TABLE B.6 – Taux d’arrivées moyen par heure pour les camions de "Billot8pi".

Heure début	Heure fin	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam
0 :00 :00	1 :00 :00	0.0018	0.0074	0.0106	0.0057	0.0086	0.0042	0.0005
1 :00 :00	2 :00 :00	0.0018	0.0074	0.0106	0.0057	0.0086	0.0042	0.0005
2 :00 :00	3 :00 :00	0.0018	0.0074	0.0106	0.0057	0.0086	0.0042	0.0005
3 :00 :00	4 :00 :00	0.0018	0.0074	0.0106	0.0057	0.0086	0.0042	0.0005
4 :00 :00	5 :00 :00	0.0018	0.0074	0.0106	0.0057	0.0086	0.0042	0.0005
5 :00 :00	6 :00 :00	0.0018	0.0074	0.0106	0.0057	0.0086	0.0042	0.0005
6 :00 :00	7 :00 :00	0.0018	0.0074	0.0106	0.0057	0.0086	0.0042	0.0005
7 :00 :00	8 :00 :00	0.0215	0.0892	0.1272	0.0680	0.1036	0.0503	0.0059
8 :00 :00	9 :00 :00	0.0090	0.0372	0.0530	0.0284	0.0431	0.0210	0.0025
9 :00 :00	10 :00 :00	0.0162	0.0669	0.0954	0.0510	0.0777	0.0377	0.0044
10 :00 :00	11 :00 :00	0.0251	0.1041	0.1484	0.0794	0.1208	0.0587	0.0069
11 :00 :00	12 :00 :00	0.0197	0.0818	0.1166	0.0624	0.0949	0.0461	0.0054
12 :00 :00	13 :00 :00	0.0233	0.0967	0.1378	0.0737	0.1122	0.0545	0.0064
13 :00 :00	14 :00 :00	0.0323	0.1338	0.1908	0.1021	0.1553	0.0754	0.0089
14 :00 :00	15 :00 :00	0.0269	0.1115	0.1590	0.0851	0.1294	0.0629	0.0074
15 :00 :00	16 :00 :00	0.0197	0.0818	0.1166	0.0624	0.0949	0.0461	0.0054
16 :00 :00	17 :00 :00	0.0305	0.1264	0.1802	0.0964	0.1467	0.0713	0.0084
17 :00 :00	18 :00 :00	0.0144	0.0595	0.0848	0.0454	0.0690	0.0335	0.0039
18 :00 :00	19 :00 :00	0.0072	0.0297	0.0424	0.0227	0.0345	0.0168	0.0020
19 :00 :00	20 :00 :00	0.0018	0.0074	0.0106	0.0057	0.0086	0.0042	0.0005
20 :00 :00	21 :00 :00	0.0072	0.0297	0.0424	0.0227	0.0345	0.0168	0.0020
21 :00 :00	22 :00 :00	0.0036	0.0149	0.0212	0.0113	0.0173	0.0084	0.0010
22 :00 :00	23 :00 :00	0.0054	0.0223	0.0318	0.0170	0.0259	0.0126	0.0015
23 :00 :00	0 :00 :00	0.0036	0.0149	0.0212	0.0113	0.0173	0.0084	0.0010

## B.2.6 Camions de BILLOT9PI

TABLE B.7 – Taux d’arrivées moyen par heure pour les camions de "Billot9pi".

Heure début	Heure fin	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam
0 :00 :00	1 :00 :00	0.0030	0.0226	0.0343	0.0246	0.0396	0.0193	0.0005
1 :00 :00	2 :00 :00	0.0030	0.0226	0.0343	0.0246	0.0396	0.0193	0.0005
2 :00 :00	3 :00 :00	0.0030	0.0226	0.0343	0.0246	0.0396	0.0193	0.0005
3 :00 :00	4 :00 :00	0.0030	0.0226	0.0343	0.0246	0.0396	0.0193	0.0005
4 :00 :00	5 :00 :00	0.0030	0.0226	0.0343	0.0246	0.0396	0.0193	0.0005
5 :00 :00	6 :00 :00	0.0030	0.0226	0.0343	0.0246	0.0396	0.0193	0.0005
6 :00 :00	7 :00 :00	0.0030	0.0226	0.0343	0.0246	0.0396	0.0193	0.0005
7 :00 :00	8 :00 :00	0.0154	0.1155	0.1753	0.1259	0.2024	0.0988	0.0025
8 :00 :00	9 :00 :00	0.0203	0.1520	0.2306	0.1657	0.2664	0.1299	0.0032
9 :00 :00	10 :00 :00	0.0130	0.0973	0.1476	0.1060	0.1705	0.0832	0.0021
10 :00 :00	11 :00 :00	0.0170	0.1277	0.1937	0.1392	0.2238	0.1091	0.0027
11 :00 :00	12 :00 :00	0.0162	0.1216	0.1845	0.1325	0.2131	0.1040	0.0026
12 :00 :00	13 :00 :00	0.0227	0.1703	0.2583	0.1856	0.2983	0.1455	0.0036
13 :00 :00	14 :00 :00	0.0195	0.1459	0.2214	0.1590	0.2557	0.1247	0.0031
14 :00 :00	15 :00 :00	0.0219	0.1642	0.2491	0.1789	0.2877	0.1403	0.0035
15 :00 :00	16 :00 :00	0.0243	0.1824	0.2768	0.1988	0.3196	0.1559	0.0039
16 :00 :00	17 :00 :00	0.0268	0.2007	0.3044	0.2187	0.3516	0.1715	0.0043
17 :00 :00	18 :00 :00	0.0057	0.0426	0.0646	0.0464	0.0746	0.0364	0.0009
18 :00 :00	19 :00 :00	0.0049	0.0365	0.0554	0.0398	0.0639	0.0312	0.0008
19 :00 :00	20 :00 :00	0.0016	0.0122	0.0185	0.0133	0.0213	0.0104	0.0003
20 :00 :00	21 :00 :00	0.0032	0.0243	0.0369	0.0265	0.0426	0.0208	0.0005
21 :00 :00	22 :00 :00	0.0024	0.0182	0.0277	0.0199	0.0320	0.0156	0.0004
22 :00 :00	23 :00 :00	0.0032	0.0243	0.0369	0.0265	0.0426	0.0208	0.0005
23 :00 :00	0 :00 :00	0.0008	0.0061	0.0092	0.0066	0.0107	0.0052	0.0001

## B.2.7 Camions de BILLOT10PI

TABLE B.8 – Taux d’arrivées moyen par heure pour les camions de ”Billot10pi”.

Heure début	Heure fin	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam
0 :00 :00	1 :00 :00	0.0001	0.0015	0.0011	0.0007	0.0011	0.0009	0.0002
1 :00 :00	2 :00 :00	0.0001	0.0015	0.0011	0.0007	0.0011	0.0009	0.0002
2 :00 :00	3 :00 :00	0.0001	0.0015	0.0011	0.0007	0.0011	0.0009	0.0002
3 :00 :00	4 :00 :00	0.0001	0.0015	0.0011	0.0007	0.0011	0.0009	0.0002
4 :00 :00	5 :00 :00	0.0001	0.0015	0.0011	0.0007	0.0011	0.0009	0.0002
5 :00 :00	6 :00 :00	0.0001	0.0015	0.0011	0.0007	0.0011	0.0009	0.0002
6 :00 :00	7 :00 :00	0.0001	0.0015	0.0011	0.0007	0.0011	0.0009	0.0002
7 :00 :00	8 :00 :00	0.0036	0.0509	0.0385	0.0245	0.0385	0.0315	0.0070
8 :00 :00	9 :00 :00	0.0036	0.0509	0.0385	0.0245	0.0385	0.0315	0.0070
9 :00 :00	10 :00 :00	0.0022	0.0305	0.0231	0.0147	0.0231	0.0189	0.0042
10 :00 :00	11 :00 :00	0.0051	0.0713	0.0538	0.0343	0.0538	0.0441	0.0098
11 :00 :00	12 :00 :00	0.0087	0.1222	0.0923	0.0587	0.0923	0.0755	0.0168
12 :00 :00	13 :00 :00	0.0022	0.0305	0.0231	0.0147	0.0231	0.0189	0.0042
13 :00 :00	14 :00 :00	0.0015	0.0204	0.0154	0.0098	0.0154	0.0126	0.0028
14 :00 :00	15 :00 :00	0.0065	0.0916	0.0692	0.0441	0.0692	0.0566	0.0126
15 :00 :00	16 :00 :00	0.0022	0.0305	0.0231	0.0147	0.0231	0.0189	0.0042
16 :00 :00	17 :00 :00	0.0022	0.0305	0.0231	0.0147	0.0231	0.0189	0.0042
17 :00 :00	18 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18 :00 :00	19 :00 :00	0.0007	0.0102	0.0077	0.0049	0.0077	0.0063	0.0014
19 :00 :00	20 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20 :00 :00	21 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21 :00 :00	22 :00 :00	0.0007	0.0102	0.0077	0.0049	0.0077	0.0063	0.0014
22 :00 :00	23 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23 :00 :00	0 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

## B.2.8 Camions de BILLOT89PI

TABLE B.9 – Taux d’arrivées moyen par heure pour les camions de ”Billot89pi”.

Heure début	Heure fin	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam
0 :00 :00	1 :00 :00	0.0000	0.0010	0.0009	0.0009	0.0014	0.0014	0.0000
1 :00 :00	2 :00 :00	0.0000	0.0010	0.0009	0.0009	0.0014	0.0014	0.0000
2 :00 :00	3 :00 :00	0.0000	0.0010	0.0009	0.0009	0.0014	0.0014	0.0000
3 :00 :00	4 :00 :00	0.0000	0.0010	0.0009	0.0009	0.0014	0.0014	0.0000
4 :00 :00	5 :00 :00	0.0000	0.0010	0.0009	0.0009	0.0014	0.0014	0.0000
5 :00 :00	6 :00 :00	0.0000	0.0010	0.0009	0.0009	0.0014	0.0014	0.0000
6 :00 :00	7 :00 :00	0.0000	0.0010	0.0009	0.0009	0.0014	0.0014	0.0000
7 :00 :00	8 :00 :00	0.0000	0.0133	0.0128	0.0128	0.0192	0.0192	0.0000
8 :00 :00	9 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9 :00 :00	10 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10 :00 :00	11 :00 :00	0.0000	0.0133	0.0128	0.0128	0.0192	0.0192	0.0000
11 :00 :00	12 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12 :00 :00	13 :00 :00	0.0000	0.0133	0.0128	0.0128	0.0192	0.0192	0.0000
13 :00 :00	14 :00 :00	0.0000	0.0067	0.0064	0.0064	0.0096	0.0096	0.0000
14 :00 :00	15 :00 :00	0.0000	0.0067	0.0064	0.0064	0.0096	0.0096	0.0000
15 :00 :00	16 :00 :00	0.0000	0.0133	0.0128	0.0128	0.0192	0.0192	0.0000
16 :00 :00	17 :00 :00	0.0000	0.0067	0.0064	0.0064	0.0096	0.0096	0.0000
17 :00 :00	18 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18 :00 :00	19 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
19 :00 :00	20 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20 :00 :00	21 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21 :00 :00	22 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22 :00 :00	23 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23 :00 :00	0 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

## B.2.9 Camions de BTPATE

TABLE B.10 – Taux d’arrivées moyen par heure pour les camions de ”BTPATE”.

Heure début	Heure fin	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam
0 :00 :00	1 :00 :00	0.0015	0.0042	0.0064	0.0026	0.0047	0.0028	0.0000
1 :00 :00	2 :00 :00	0.0015	0.0042	0.0064	0.0026	0.0047	0.0028	0.0000
2 :00 :00	3 :00 :00	0.0015	0.0042	0.0064	0.0026	0.0047	0.0028	0.0000
3 :00 :00	4 :00 :00	0.0015	0.0042	0.0064	0.0026	0.0047	0.0028	0.0000
4 :00 :00	5 :00 :00	0.0015	0.0042	0.0064	0.0026	0.0047	0.0028	0.0000
5 :00 :00	6 :00 :00	0.0015	0.0042	0.0064	0.0026	0.0047	0.0028	0.0000
6 :00 :00	7 :00 :00	0.0015	0.0042	0.0064	0.0026	0.0047	0.0028	0.0000
7 :00 :00	8 :00 :00	0.0129	0.0366	0.0558	0.0227	0.0414	0.0248	0.0000
8 :00 :00	9 :00 :00	0.0155	0.0439	0.0670	0.0273	0.0496	0.0298	0.0000
9 :00 :00	10 :00 :00	0.0077	0.0219	0.0335	0.0136	0.0248	0.0149	0.0000
10 :00 :00	11 :00 :00	0.0129	0.0366	0.0558	0.0227	0.0414	0.0248	0.0000
11 :00 :00	12 :00 :00	0.0258	0.0731	0.1117	0.0455	0.0827	0.0496	0.0000
12 :00 :00	13 :00 :00	0.0206	0.0585	0.0893	0.0364	0.0662	0.0397	0.0000
13 :00 :00	14 :00 :00	0.0310	0.0877	0.1340	0.0546	0.0993	0.0596	0.0000
14 :00 :00	15 :00 :00	0.0361	0.1024	0.1563	0.0637	0.1158	0.0695	0.0000
15 :00 :00	16 :00 :00	0.0077	0.0219	0.0335	0.0136	0.0248	0.0149	0.0000
16 :00 :00	17 :00 :00	0.0155	0.0439	0.0670	0.0273	0.0496	0.0298	0.0000
17 :00 :00	18 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18 :00 :00	19 :00 :00	0.0077	0.0219	0.0335	0.0136	0.0248	0.0149	0.0000
19 :00 :00	20 :00 :00	0.0103	0.0292	0.0447	0.0182	0.0331	0.0199	0.0000
20 :00 :00	21 :00 :00	0.0077	0.0219	0.0335	0.0136	0.0248	0.0149	0.0000
21 :00 :00	22 :00 :00	0.0103	0.0292	0.0447	0.0182	0.0331	0.0199	0.0000
22 :00 :00	23 :00 :00	0.0077	0.0219	0.0335	0.0136	0.0248	0.0149	0.0000
23 :00 :00	0 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

## B.2.10 Camions de bois long (route privée)

TABLE B.11 – Taux d’arrivées moyen par heure pour les camions de bois long (route privée).

Heure début	Heure fin	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam
0 :00 :00	1 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1 :00 :00	2 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2 :00 :00	3 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3 :00 :00	4 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4 :00 :00	5 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5 :00 :00	6 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6 :00 :00	7 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7 :00 :00	8 :00 :00	0.0000	0.2866	0.2914	0.2513	0.2537	0.1588	0.0000
8 :00 :00	9 :00 :00	0.0000	2.8125	2.8595	2.4655	2.4894	1.5581	0.0000
9 :00 :00	10 :00 :00	0.0000	3.3857	3.4424	2.9681	2.9968	1.8757	0.0000
10 :00 :00	11 :00 :00	0.0000	1.4779	1.5026	1.2956	1.3081	0.8188	0.0000
11 :00 :00	12 :00 :00	0.0000	1.8362	1.8669	1.6097	1.6253	1.0172	0.0000
12 :00 :00	13 :00 :00	0.0000	0.1433	0.1457	0.1256	0.1268	0.0794	0.0000
13 :00 :00	14 :00 :00	0.0000	2.5796	2.6228	2.2614	2.2833	1.4291	0.0000
14 :00 :00	15 :00 :00	0.0000	2.1765	2.2130	1.9080	1.9265	1.2058	0.0000
15 :00 :00	16 :00 :00	0.0000	2.0422	2.0764	1.7903	1.8076	1.1314	0.0000
16 :00 :00	17 :00 :00	0.0000	1.3525	1.3751	1.1857	1.1971	0.7493	0.0000
17 :00 :00	18 :00 :00	0.0000	0.0179	0.0182	0.0157	0.0159	0.0099	0.0000
18 :00 :00	19 :00 :00	0.0000	0.0090	0.0091	0.0079	0.0079	0.0050	0.0000
19 :00 :00	20 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20 :00 :00	21 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21 :00 :00	22 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22 :00 :00	23 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23 :00 :00	0 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

### B.2.11 Camions de bois court (route privée)

TABLE B.12 – Taux d’arrivées moyen par heure pour les camions de bois court (route privée).

Heure début	Heure fin	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam
0 :00 :00	1 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1 :00 :00	2 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2 :00 :00	3 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3 :00 :00	4 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4 :00 :00	5 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5 :00 :00	6 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6 :00 :00	7 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7 :00 :00	8 :00 :00	0.0000	0.0614	0.0782	0.0918	0.0669	0.0118	0.0000
8 :00 :00	9 :00 :00	0.0000	0.7134	0.9095	1.0670	0.7774	0.1372	0.0000
9 :00 :00	10 :00 :00	0.0000	0.8284	1.0562	1.2391	0.9028	0.1593	0.0000
10 :00 :00	11 :00 :00	0.0000	0.7901	1.0073	1.1817	0.8610	0.1519	0.0000
11 :00 :00	12 :00 :00	0.0000	0.3912	0.4987	0.5851	0.4263	0.0752	0.0000
12 :00 :00	13 :00 :00	0.0000	0.0844	0.1076	0.1262	0.0919	0.0162	0.0000
13 :00 :00	14 :00 :00	0.0000	0.5676	0.7237	0.8490	0.6186	0.1092	0.0000
14 :00 :00	15 :00 :00	0.0000	0.8744	1.1148	1.3079	0.9529	0.1682	0.0000
15 :00 :00	16 :00 :00	0.0000	0.5139	0.6552	0.7687	0.5600	0.0988	0.0000
16 :00 :00	17 :00 :00	0.0000	0.5676	0.7237	0.8490	0.6186	0.1092	0.0000
17 :00 :00	18 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18 :00 :00	19 :00 :00	0.0000	0.0077	0.0098	0.0115	0.0084	0.0015	0.0000
19 :00 :00	20 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20 :00 :00	21 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21 :00 :00	22 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22 :00 :00	23 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23 :00 :00	0 :00 :00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

## Annexe C

# Intrants du modèle de simulation de la cours de bois scié

### C.1 Expédition

#### C.1.1 Chargement des camions

TABLE C.1 – Échantillon du tableau de chargement de camions pour l'expédition.

Camion ID	Type et quantité de produits à charger dans le camion									
	v12	v14	v16	v8	v210p	a2x3x6	a2x4x6	d2x4x6	d2x4x7	d2x6x6
389	0	0	0	0	0	0	0	96	0	0
305	0	0	0	0	0	5	86	0	0	0
185	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0
284	20	16	36	0	0	0	0	0	0	0
207	0	4	0	64	0	0	0	0	0	0
257	0	2	0	65	0	0	0	0	0	0
206	0	0	0	0	0	0	0	34	8	22
235	0	58	6	0	0	0	0	0	0	0
345	12	18	30	4	0	0	0	0	0	0
362	12	18	30	4	0	0	0	0	0	0
364	12	18	30	4	0	0	0	0	0	0
266	8	14	40	0	0	0	0	0	0	0



## C.2 Rabotage

### C.2.1 Relation entre les produits bruts et finis

TABLE C.2 – Échantillon des liens entre les entités de produits bruts et finis.

Produit Brut	Produit fini inférieur	Produit fini intermédiaire	Produit fini MSR	Produit fini supérieur
Sci1P3E10	PF1P3x10Inf	PF1P3x10Int	PF1P3x10MSR	PF1P3x10Sup
Sci1P3E12	PF1P3x12Inf	PF1P3x12Int	PF1P3x12MSR	PF1P3x12Sup
Sci1P3E14	PF1P3x14Inf	PF1P3x14Int	PF1P3x14MSR	PF1P3x14Sup
Sci1P3E16	PF1P3x16Inf	PF1P3x16Int	PF1P3x16MSR	PF1P3x16Sup
Sci1P3E8	PF1P3x8Inf	PF1P3x8Int	PF1P3x8MSR	PF1P3x8Sup
Sci1P3V10	PF1P3x10Inf	PF1P3x10Int	PF1P3x10MSR	PF1P3x10Sup
Sci1P3V12	PF1P3x12Inf	PF1P3x12Int	PF1P3x12MSR	PF1P3x12Sup
Sci1P3V14	PF1P3x14Inf	PF1P3x14Int	PF1P3x14MSR	PF1P3x14Sup
Sci1P3V16	PF1P3x16Inf	PF1P3x16Int	PF1P3x16MSR	PF1P3x16Sup
Sci1P3V7	PF1P3x7Inf	PF1P3x7Int	PF1P3x7MSR	PF1P3x7Sup
Sci1P3V8	PF1P3x8Inf	PF1P3x8Int	PF1P3x8MSR	PF1P3x8Sup
SciEpi1x3x10	PF1x3x10Inf	PF1x3x10Int	PF1x3x10MSR	PF1x3x10Sup
SciVer1x3x10	PF1x3x10Inf	PF1x3x10Int	PF1x3x10MSR	PF1x3x10Sup
SciEpi1x3x12	PF1x3x12Inf	PF1x3x12Int	PF1x3x12MSR	PF1x3x12Sup
SciVer1x3x12	PF1x3x12Inf	PF1x3x12Int	PF1x3x12MSR	PF1x3x12Sup
SciEpi1x3x14	PF1x3x14Inf	PF1x3x14Int	PF1x3x14MSR	PF1x3x14Sup
SciVer1x3x14	PF1x3x14Inf	PF1x3x14Int	PF1x3x14MSR	PF1x3x14Sup
SciEpi1x3x16	PF1x3x16Inf	PF1x3x16Int	PF1x3x16MSR	PF1x3x16Sup
SciVer1x3x16	PF1x3x16Inf	PF1x3x16Int	PF1x3x16MSR	PF1x3x16Sup
SciEpi1x3x8	PF1x3x8Inf	PF1x3x8Int	PF1x3x8MSR	PF1x3x8Sup
SciVer1x3x8	PF1x3x8Inf	PF1x3x8Int	PF1x3x8MSR	PF1x3x8Sup
SciBle1x4x10	PF1x4x10Inf	PF1x4x10Int	PF1x4x10MSR	PF1x4x10Sup
SciEpi1x4x10	PF1x4x10Inf	PF1x4x10Int	PF1x4x10MSR	PF1x4x10Sup
SciVer1x4x10	PF1x4x10Inf	PF1x4x10Int	PF1x4x10MSR	PF1x4x10Sup
SciEpi1x4x12	PF1x4x12Inf	PF1x4x12Int	PF1x4x12MSR	PF1x4x12Sup
SciVer1x4x12	PF1x4x12Inf	PF1x4x12Int	PF1x4x12MSR	PF1x4x12Sup
SciEpi1x4x14	PF1x4x14Inf	PF1x4x14Int	PF1x4x14MSR	PF1x4x14Sup
SciVer1x4x14	PF1x4x14Inf	PF1x4x14Int	PF1x4x14MSR	PF1x4x14Sup
SciEpi1x4x16	PF1x4x16Inf	PF1x4x16Int	PF1x4x16MSR	PF1x4x16Sup
SciVer1x4x16	PF1x4x16Inf	PF1x4x16Int	PF1x4x16MSR	PF1x4x16Sup
SciEpi1x4x8	PF1x4x8Inf	PF1x4x8Int	PF1x4x8MSR	PF1x4x8Sup
SciVer1x4x8	PF1x4x8Inf	PF1x4x8Int	PF1x4x8MSR	PF1x4x8Sup
SciMel2_5x6x10	PF2_5x6x10Inf	PF2_5x6x10Int	PF2_5x6x10MSR	PF2_5x6x10Sup
SciMel2_5x6x16	PF2_5x6x16Inf	PF2_5x6x16Int	PF2_5x6x16MSR	PF2_5x6x16Sup
SciMel2_5x6x8	PF2_5x6x8Inf	PF2_5x6x8Int	PF2_5x6x8MSR	PF2_5x6x8Sup

## C.2.2 Recette du rabotage

TABLE C.3 – Échantillon de la recette de rabotage (probabilités cumulatives).

Produit	Probabilité inférieur	Probabilité intermédiaire	Probabilité MSR	Probabilité supérieur
Sci2P3E10	0.13282151	0.44664933	0.653810737	1
Sci2P3E12	0.11412687	0.45082683	0.653885943	1
Sci2P3E14	0.10766238	0.42324975	0.639582654	1
Sci2P3E16	0.08579855	0.42952772	0.656653096	1
Sci2P3E6	0.36693864	0.7290707	0.823404592	1
Sci2P3E7	0.17698275	0.58060028	0.739115689	1
Sci2P3E8	0.10772173	0.44331429	0.611549787	1
Sci2P3V10	0.26677247	0.77468789	0.774687888	1
Sci2P3V12	0.18041675	0.87596598	0.87596598	1
Sci2P3V14	0.15749682	0.79190197	0.791901971	1
Sci2P3V16	0.1753068	0.81479734	0.814797343	1
Sci2P3V6	0.36139703	0.89620289	0.896202889	1
Sci2P3V7	0.18268654	0.85268073	0.852680729	1
Sci2P3V8	0.10375659	0.74326832	0.74326832	1
SciEpi2x10x16	0.22945604	0.22945604	0.229456042	1
SciEpi2x3x10	0.13282151	0.44664933	0.653810737	1
SciVer2x3x10	0.26677247	0.77468789	0.774687888	1
SciEpi2x3x12	0.11412687	0.45082683	0.653885943	1
SciVer2x3x12	0.18041675	0.87596598	0.87596598	1
SciEpi2x3x14	0.10766238	0.42324975	0.639582654	1
SciVer2x3x14	0.15749682	0.79190197	0.791901971	1
SciEpi2x3x16	0.08579855	0.42952772	0.656653096	1
SciVer2x3x16	0.1753068	0.81479734	0.814797343	1
SciEpi2x3x6	0.36693864	0.7290707	0.823404592	1
SciVer2x3x6	0.36139703	0.89620289	0.896202889	1

## C.3 Sciage

### C.3.1 Recette du sciage

TABLE C.4 – Échantillon de la recette du sciage (génération des entités entrantes).

<b>Produit brut</b>	<b>Poids relatif de probabilité</b>
SciVer2x3x8	7
SciBle1x4x10	190
SciBle2x4x12	194
SciBle2x4x14	69
SciBle2x4x16	103
SciBle2x4x8	78
SciEpi1x4x10	239
SciEpi2x4x10	887
SciEpi1x4x12	250
SciEpi2x4x12	841
SciEpi1x4x14	175
SciEpi2x4x14	426
SciEpi1x4x16	227
SciEpi2x4x16	795
SciEpi2x4x6	177
SciEpi2x4x7	142
SciEpi1x4x8	211
SciEpi2x4x8	297
SciEpi2x4x9	244
SciLeg2x4x10	115
SciLeg2x4x12	120
SciLeg2x4x14	49
SciLeg2x4x16	80
SciLeg2x4x8	27
SciMel1x4x6	462
SciMel2x4x6	1
SciVer1x4x10	115
SciVer2x4x10	347
SciVer1x4x12	116
SciVer2x4x12	374

## C.4 Séchage

### C.4.1 Durées de séchage (été)

TABLE C.5 – Expressions aléatoires de durées de séchage (été).

Règle de séchage	Expression de durée (heures)
Regle31	Math.Max(102,Random.Normal(136 , 40.6325))
Regle41	Math.Max(53,Random.Normal(56.3 , 3.05505))
Regle51	Math.Max(59,Random.Normal(61 , 2))
Regle71	Math.Max(89,Random.Normal(118.5 , 16.8011))
Regle91	Random.Discrete(45, 0.33, 118, 0.67, 124, 1)
Regle101	200
Regle52	Random.Discrete(49,0.33,97,0.67,98,1)
Regle62	Random.Discrete(137,0.5,139,1)
Regle72	Math.Max(57,Random.Normal(68.875 , 10.2321))
Regle82	Math.Max(62,Random.Normal(69.3333 , 8.08290))
Regle92	Math.Max(95,Random.Normal(99.5 , 6.36396))
Regle102	Random.Discrete(155,0.5,214,1)
Regle13	Random.Discrete(41,0.09,45,0.27,46,0.55,47,0.64,48,0.73,50,0.82,56,0.91,60,1)
Regle23	Random.Discrete(62,0.67,94,1)
Regle33	Math.Max(103,Random.Normal(131.833 , 18.4977))
Regle43	Random.Discrete(43,0.08,44,0.12,45,0.23,46,0.45,53,0.58,65,1)
Regle53	Math.Max(45,Random.Normal(47 , 1.63299))
Regle14	Math.Max(53,Random.Normal(57.3846 , 7.10536))
Regle44	76
Regle15	Math.Max(68,Random.Normal(74.25 , 4.34933))
Regle35	Random.Discrete(159,0.25,160,0.50,161,0.75,172,1)
Regle45	118
Regle105	196

## C.4.2 Durées de séchage (hiver)

TABLE C.6 – Expressions aléatoires de durées de séchage (hiver).

Règle de séchage	Expression de durée (heures)
Regle31	Math.Max(102,Random.Normal(136 , 40.6325))
Regle41	Math.Max(71,Random.Normal(80.2 , 8.58487))
Regle51	Math.Max(83,Random.Normal(91.6 , 5.45894))
Regle71	Math.Max(89,Random.Normal(118.5 , 16.8011))
Regle91	Random.Discrete(45, 0.33, 118, 0.67, 124, 1)
Regle101	200
Regle52	Random.Discrete(49,0.33,97,0.67,98,1)
Regle62	Random.Discrete(137,0.5,139,1)
Regle72	Math.Max(57,Random.Normal(68.875 , 10.2321))
Regle82	Math.Max(100,Random.Normal(118.571 ,12.9081))
Regle92	Math.Max(116,Random.Normal(129.5 , 15.0033))
Regle102	Random.Discrete(155,0.5,214,1)
Regle13	Math.Max(67,Random.Normal(84.5 , 16.1511))
Regle23	Random.Discrete(62,0.67,94,1)
Regle33	Math.Max(103,Random.Normal(131.833 , 18.4977))
Regle43	Math.Max(80,Random.Normal(88.7778 , 5.71791))
Regle53	Math.Max(45,Random.Normal(47 , 1.63299))
Regle14	Math.Max(87,Random.Normal(102.556 , 7.62521))
Regle44	Math.Max(96,Random.Normal(106 , 9.53939))
Regle15	Math.Max(84,Random.Normal(104.333 , 15.2889))
Regle35	Math.Max(191,Random.Normal(197.667 , 5.77350))
Regle45	118
Regle105	Math.Max(204,Random.Normal(220.75 , 20.0562))

### C.4.3 Règles de chargement de séchoirs

TABLE C.7 – Échantillon (transposé) des quantités de paquets par produits par règle de chargement.

RegleChargement	R.44	R.13	R.14	R.45	R.105	R.101	R.15	R.35
QteEpi2x3x8	0	0	0	0	0	4	0	0
QteBle2x4x12	0	0	0	0	0	0	25	0
QteBle2x4x14	0	0	0	0	0	0	3	0
QteBle2x4x16	0	0	0	0	0	0	4	0
QteBle2x4x8	0	0	0	0	0	0	10	0
QteEpi2x4x10	24	0	0	0	0	16	0	0
QteEpi1x4x12	0	0	0	0	0	12	0	0
QteEpi2x4x12	34	0	0	0	0	24	0	0
QteEpi1x4x14	0	0	0	0	0	8	0	0
QteEpi2x4x14	0	6	0	0	0	8	0	0
QteEpi1x4x16	0	0	0	0	0	11	0	0
QteEpi2x4x16	36	36	0	0	0	20	0	0
QteEpi2x4x8	0	0	0	0	0	4	0	0
QteLeg2x4x12	2	0	0	0	0	0	0	0
QteLeg2x4x16	0	4	0	0	0	0	0	0
QteVer2x4x10	0	0	0	0	0	0	0	16
QteVer2x4x12	0	0	0	32	32	0	0	12
QteVer2x4x14	0	0	0	0	0	0	0	3
QteVer2x4x16	0	0	0	0	0	0	0	4
QteBle2x6x10	0	0	0	0	0	0	8	0
QteBle2x6x12	0	0	0	0	0	9	7	0
QteBle2x6x14	0	0	0	0	0	5	5	0
QteBle2x6x16	0	0	0	0	0	11	8	0
QteBle2x6x8	0	0	0	0	0	0	2	0
QteEpi2x6x10	5	20	8	0	0	0	0	0
QteEpi2x6x12	6	25	22	6	6	0	6	0
QteEpi2x6x14	14	28	22	14	14	0	14	0
QteEpi2x6x16	45	0	39	16	16	0	16	16
QteLeg2x6x10	6	3	6	0	0	0	0	0
QteLeg2x6x12	0	6	0	0	0	0	0	0
QteLeg2x6x14	2	0	1	1	1	0	1	1
QteLeg2x6x16	11	0	8	11	11	0	8	8
QteVer2x6x10	0	0	0	7	7	0	0	4
QteVer2x6x12	0	0	0	21	21	0	0	4
QteVer2x6x14	0	0	0	6	6	7	14	24
QteVer2x6x16	0	0	0	24	24	12	10	30
QteVer2x6x6	0	0	0	0	0	0	0	1
QteVer2x6x9	0	0	0	9	9	0	0	0
QteEpi2x8x12	5	5	4	0	0	0	0	0
QteEpi2x8x14	3	14	21	5	5	0	1	1
QteEpi2x8x16	13	22	33	8	8	0	3	3

# Bibliographie

- [1] Fawaz A Abdulmalek and Jayant Rajgopal. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation : A process sector case study. *International Journal of production economics*, 107(1) :223–236, 2007.
- [2] Peter Baker and Marco Canessa. Warehouse design : A structured approach. *European Journal of Operational Research*, 193(2) :425–436, 2009.
- [3] J Banks, JS Carson, BL Nelson, and DM Nicol. *Discrete-Event System Simulation*. Prentice Hall, 5 edition, 2010.
- [4] Daniel Beaudoin, Luc LeBel, and Mohamed Amine Soussi. Discrete event simulation to improve log yard operations. *INFOR : Information Systems and Operational Research*, 50(4) :175–185, 2012.
- [5] Sorin Chiorescu and Anders Gronlund. Assessing the role of the harvester within the forestry-wood chain. *Forest Products Journal*, 51(0) :2, 2001.
- [6] Sophie D’Amours, Mikael Rönnqvist, and Andres Weintraub. Using operational research for supply chain planning in the forest products industry. *INFOR : Information Systems and Operational Research*, 46(4) :265–281, 2008.
- [7] Can A Dogan, Todd F McClain, and Steven A Wicklund. Simulation modeling and analysis of a hardwood sawmill. *Simulation Practice and Theory*, 5(5) :387–403, 1997.
- [8] John Rusty Dramm, Robert Govett, Ted Bilek, and Gerry L Jackson. *Log sort yard economics, planning, and feasibility*. Citeseer, 2004.
- [9] John Rusty Dramm, Gerry Jackson, and Jenny Wong. *Review of log sort yards*. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2002.
- [10] Gouvernement du Québec. *Guide des normes de charges et dimensions des véhicules routiers*, 2013.
- [11] Shuva Gautam, Luc LeBel, and Daniel Beaudoin. Agility capabilities in wood procurement systems : a literature synthesis. *International Journal of Forest Engineering*, 24(3) :216–232, 2013.

- [12] Jinxiang Gu, Marc Goetschalckx, and Leon F McGinnis. Research on warehouse operation : A comprehensive review. *European journal of operational research*, 177(1) :1–21, 2007.
- [13] Charles M Hampton. *Dry Land Log Handling and Sorting : Planning, Construction, and Operation of Log Yards*. M. Freeman Publications, 1981.
- [14] J Richard Harrison, Zhiang Lin, Glenn R Carroll, and Kathleen M Carley. Simulation modeling in organizational and management research. *Academy of Management Review*, 32(4) :1229–1245, 2007.
- [15] Shahrukh A Irani and Jin Zhou. Value stream mapping of a complete product. *Department of Industrial, Welding and Systems Engineering, The Ohio State University, Columbus, OH*, 43210, 2011.
- [16] W. David Kelton, Jeffrey S. Smith, and David T. Sturrock. *Simio and Simulation : Modeling, Analysis, Applications*. Simio LLC, 3<sup>rd</sup> edition, 2013.
- [17] Kalvis Kons, Pedro La Hera, and Dan Bergström. Comparison of alternative pulpwood inventory strategies and machine systems at a log-yard using simulations. *Forests*, 11(4), 2020.
- [18] Mark Kosfeld. Warehouse design through dynamic simulation. In *Simulation Conference Proceedings, 1998. Winter*, volume 2, pages 1049–1053. IEEE, 1998.
- [19] Luc LeBel and J Steven Carruth. Simulation of woodyard inventory variations using a stochastic model. *Forest products journal*, 47(3) :52, 1997.
- [20] Daniel Beaudoin Marta Trzcianowska and Luc LeBel. Portrait général des cours à bois sepm du québec. Technical report, FORAC, 2017.
- [21] Patrick D Miles and W Brad Smith. *Specific gravity and other properties of wood and bark for 156 tree species found in North America*, volume 38. US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, 2009.
- [22] Richard Muther. *Systematic Layout Planning*. Cahers Books, 1973.
- [23] Jason Myers and Evelyn W Richards. Supporting wood supply chain decisions with simulation for a mill in northwestern bc. *INFOR : Information Systems and Operational Research*, 41(3) :213–234, 2003.
- [24] Asif Rahman, Stefan Vlad, Pascal Rebreyend, and Siril Yella. Multi-agent simulation of sawmill yard operations. In *IASTED conference on Applied Simulation and Modelling (ASM 2012), Napoli, Italy, 25-27 June, 2012*, 2012.



- [25] Asif Rahman, Siril Yella, and Mark Dougherty. Simulation and optimization techniques for sawmill yard operations-a literature review. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 6(1) :21, 2014.
- [26] Mikael Rönnqvist, Sophie D’Amours, Andres Weintraub, Alejandro Jofre, Eldon Gunn, Robert Haight, David Martell, Alan Murray, and Carlos Romero. Operations research challenges in forestry : 33 open problems. *Annals of Operations Research*, 232, 09 2015.
- [27] Bart Rouwenhorst, B Reuter, V Stockrahm, GJ Van Houtum, RJ Mantel, and WHM Zijm. Warehouse design and control : Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122(3) :515–533, 2000.
- [28] Maxence C Salichon. Simulating changing diameter distributions in a softwood sawmill. Master’s thesis, Oregon State University, Corvallis, Oregon, 2005.
- [29] François Sarrazin, Luc LeBel, and Nadia Lehoux. Analyzing the impact of implementing a logistics center for a complex forest network. *Canadian Journal of Forest Research*, 49(2) :179–189, 2019.
- [30] Shashi Shahi and Reino Pulkki. A simulation-based optimization approach to integrated inventory management of a sawlog supply chain with demand uncertainty. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(10) :1313–1326, 2015.
- [31] Robert E Shannon. Introduction to the art and science of simulation. In *Proceedings of the 30th conference on Winter simulation*, pages 7–14. IEEE Computer Society Press, 1998.
- [32] Alex WJ Sinclair, G Vern Wellburn, et al. A handbook for designing, building and operating a log sortyard. *A handbook for designing, building and operating a log sortyard.*, 1984.
- [33] Emmanuel Tran. Efficacité d’utilisation des chargeuses dans les parcs à bois : quatre études de cas. *Avantage FERIC*, 10(9) :8, November 2008.
- [34] Marta Trzcianowska. Développement d’une méthodologie systématique de conception des cours à bois. 2020.
- [35] Marta Trzcianowska, Daniel Beaudoin, and Luc LeBel. Current practices in log yard design and operations in the province of quebec, canada. *Forest Products Journal*, 69(4) :248–259, 2019.
- [36] Marta Trzcianowska, Daniel Beaudoin, Luc LeBel, et al. Wood yard design methodology for improved supply chain performance. *From Theory to Practice : Challenges for Forest Engineering*, page 129, 2016.

- [37] Jeroen P van den Berg and WHM Zijm. Models for warehouse management : Classification and examples. *International Journal of Production Economics*, 59(1) :519–528, 1999.
- [38] Jingxin Wang, Chris B LeDoux, and Yaoxiang Li. Simulating cut-to-length harvesting operations in appalachian hardwoods. *International Journal of Forest Engineering*, 16(2) :11–27, 2005.
- [39] M Kazemi Zanjani, Mustapha Nourelfath, and Daoud Aït-Kadi. Production planning with uncertainty in the quality of raw materials : a case in sawmills. *Journal of the Operational Research Society*, 62(7) :1334–1343, 2011.