



**Titre:** Réservation de capacité de production dans le domaine du  
Title: traitement de surface pour l'aéronautique

**Auteur:** Daniel Kossar  
Author:

**Date:** 2017

**Type:** Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

**Référence:** Kossar, D. (2017). Réservation de capacité de production dans le domaine du  
Citation: traitement de surface pour l'aéronautique [Master's thesis, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/2497/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**  
Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/2497/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de  
recherche:** Robert Pellerin, & Jean-Marc Frayret  
Advisors:

**Programme:** Maîtrise recherche en génie industriel  
Program:



UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

RÉSERVATION DE CAPACITÉ DE PRODUCTION DANS LE DOMAINE DU  
TRAITEMENT DE SURFACE POUR L'AÉRONAUTIQUE

DANIEL KOSSAR

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

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

MARS 2017



UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

RÉSERVATION DE CAPACITÉ DE PRODUCTION DANS LE DOMAINE DU  
TRAITEMENT DE SURFACE POUR L'AÉRONAUTIQUE

présenté par : KOSSAR Daniel

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

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

M. BASSETTO Samuel-Jean, Doctorat, président

M. PELLERIN Robert, Ph. D., membre et directeur de recherche

M. FRAYRET Jean-Marc, Ph. D., membre et codirecteur de recherche

M. RIVEST Louis, Ph. D., membre



## DÉDICACE

*À ma famille*



## REMERCIEMENTS

Je tiens à adresser mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont apporté leur soutien, de près ou de loin, pour mener à bien mes efforts de recherche.

Je souhaite donc remercier tout particulièrement M. Robert Pellerin, mon directeur de recherche et professeur à l'École Polytechnique de Montréal. En m'accordant sa confiance et me faisant bénéficier de son expertise, il m'a permis de conclure mes études par un projet de recherche enrichissant. Je remercie aussi M. Jean-Marc Frayret, mon codirecteur de recherche qui m'a soutenu tout au long du projet, notamment dans mes démarches de modélisation et de simulation.

Je remercie le Centre Facilitant la Recherche et l'Innovation des Organisations (CEFRIO) qui est l'instigateur du projet PME 2.0 et plus spécifiquement de mon projet, ainsi que M. Paul Brunelle pour son assistance logicielle et informatique.

Mme Nathalie Perrier reçoit mes remerciements pour son aide lors de ma préparation à la soutenance.

Je remercie également Kyung-Seo Min qui m'a apporté un soutien linguistique quand il s'agissait de rédiger dans la langue de Shakespeare.

Enfin, Je remercie mes amis Arnold, Arnaud, Anne-Sophie, Gabriel, Osama, Maher, Kerelous et Amira, Andres, Philippe et Carlos pour leur collaboration ou leur soutien à Polytechnique Montréal. Je remercie aussi plus spécifiquement mes amis Margaux, Quentin, Johan et Alexis qui ont toujours été proches de moi au cours de ces deux années passées à Montréal.



## RÉSUMÉ

Les entreprises de traitement de surface dans le secteur aéronautique font face à de nombreux problèmes concernant leur charge de travail, les délais accordés par leur client et leur réactivité. Deux des principales causes sont la variabilité et la très grande diversité de la demande. Afin de mieux planifier l'utilisation de leur ressource, les manufacturiers du secteur ont besoin de construire des relations basées sur une plus grande collaboration avec leur clientèle. Alors que de très nombreuses pratiques collaboratives ont été proposées dans la littérature, la plupart d'entre elles sont centrées sur la production sur stock dans le secteur de la distribution et ne peuvent pas être directement applicables dans notre cas d'étude, à savoir une production sur commande. Aussi, la gestion des priorités est un sujet largement traité par la littérature et il existe des règles d'ordonnancement très performantes et adaptées à des situations bien identifiées. Notre cas d'étude ne permet pas non plus l'application directe de ces règles, notamment en raison de la grande diversité des produits impliqués. L'objet de cette recherche est d'évaluer les impacts et la faisabilité d'une approche collaborative innovante basée sur une réservation de la capacité de la production et une gestion des priorités qui s'y associe de manière pertinente. Une modélisation du processus actuellement utilisé est d'abord réalisée et sert de base à la modélisation du nouveau processus. Le processus proposé s'accompagne, d'une part, des termes d'un contrat de réservation de la capacité de la production du manufacturier qui stipule les engagements du client en termes d'échange d'information sur sa demande future, et d'autre part, des engagements du manufacturier au niveau de la prise en charge des commandes issues de la réservation. La relation contractuelle se base notamment sur des niveaux de priorité des commandes associés à des niveaux de partage de la demande future des clients. La simulation à événements discrets est utilisée pour confronter la solution proposée à différentes mises en situation, notamment des variations conséquentes de la demande qui engendrent une dégradation des performances de manière irrégulière et imprévisible. Ainsi, les résultats obtenus nous permettent de conclure quant à l'intérêt du processus proposé : on observe un lissage et une augmentation des performances globales. Aussi, les résultats montrent qu'une augmentation du nombre de clients engagés dans un contrat de réservation de la capacité est bénéfique pour les acteurs de la collaboration.



## ABSTRACT

Surface finishing manufacturers in the aeronautics industry face numerous problems related to their workload, deadlines, and reactivity. The main causes of these challenges are the variability and diversity of demand. Manufacturers need to improve plan production resource utilization to foster more collaborative relationships with their clients. Academic literature presents many collaborative practices, but most are dedicated to make-to-stock production and retail business; such practices cannot be used directly in relation to surface finishing manufacturers, i.e. make-to-order activities. There are many existing studies about priority management, and it is easy to find efficient and relevant scheduling rules, but few studies specifically concern surface finishing manufacturing. One possible reason for the gap in literature is the diversity of involved products. One of the goals of our study is to evaluate the feasibility and the impacts of an innovative manufacturing approach based on production capacity reservation and relevant priority rules. First, a model of the current process was tested. The study compares it to a new proposed model. The new proposed model involves production capacity reservation contracts, client commitments and surface finishing manufacturer commitments to contract-based orders processing. The proposed collaborative relationship is based on different order priority levels related to the way clients share their future demand or not. The proposed model is evaluated in different situations using discrete event simulation, with particular attention to high variability and uncertain demand, which worsens performance. The study concludes with the benefits of the proposed model: it smoothenes performances over the observed horizon. Also, more client involvement in the collaboration results in greater benefits to all stakeholders.



## TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS .....	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT .....	VI
TABLE DES MATIÈRES .....	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	X
LISTE DES FIGURES .....	XII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....	XIV
LISTE DES ANNEXES .....	XVI
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Introduction .....	1
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE .....	6
2.1 Introduction .....	6
2.2 Pratiques collaboratives.....	7
2.3 Contrats de réservation de la capacité .....	11
2.4 Pratiques de priorisation des commandes et d’ordonnancement .....	20
2.5 Analyse critique des articles.....	22
2.6 Conclusion.....	30
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE.....	31
3.1 Introduction .....	31
3.2 Description des questions de recherche .....	31
3.3 Description de la méthodologie.....	32
3.4 Conclusion.....	35



CHAPITRE 4	MODÈLE DE LA SITUATION ACTUELLE.....	36
4.1	Introduction .....	36
4.2	Processus actuel (AS-IS).....	36
4.2.1	Analyse du cas d'étude réel.....	36
4.2.2	Choix de modélisation du processus .....	41
4.3	Analyse critique des choix de modélisation.....	51
CHAPITRE 5	MODÈLE DU PROCESSUS SOUHAITÉ (TO-BE).....	54
5.1	Introduction .....	54
5.2	Processus souhaité (TO-BE) .....	54
5.2.1	Passage des commandes.....	54
5.2.2	Gestion des niveaux de priorité.....	55
5.3	Discussions.....	55
5.4	Conclusion.....	58
CHAPITRE 6	EXPÉRIENCES .....	59
6.1	Introduction .....	59
6.2	Indicateurs de performance .....	59
6.3	Cadre expérimental .....	61
6.3.1	Calibration du modèle du processus actuel (AS-IS) .....	62
6.3.2	Expériences pour le processus amélioré (TO-BE) .....	63
6.4	Modèle de simulation ARENA .....	66
6.4.1	Intrants du modèle.....	66
6.4.2	Spécification du modèle .....	67
6.4.3	Définition des paramètres expérimentaux.....	73
6.4.4	Validation du modèle ARENA .....	79



6.5	Conclusion.....	85
CHAPITRE 7 ANALYSE DES RÉSULTATS .....		86
7.1	Introduction .....	86
7.2	Résultats selon une demande stable .....	86
7.3	Résultats selon une demande variable.....	91
7.4	Résultats selon le niveau de réservation.....	100
7.5	Discussion .....	102
7.6	Conclusion.....	103
CHAPITRE 8 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....		104
RÉFÉRENCES.....		107
ANNEXES .....		111



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.2: Comparaison entre DR, take-or-pay, QF, Buy-back et Options .....	16
Tableau 2.3: Lacunes et atouts des principales pratiques de collaboration et de réservation de la capacité.....	27
Tableau 2.4: Classification des textes sur les pratiques collaboratives.....	28
Tableau 2.5: Classification des textes sur les pratiques de réservation.....	29
Tableau 4.1: Nombre de pièces en fonction du volume .....	41
Tableau 4.2: Délais en fonction des familles de produits .....	42
Tableau 4.3: Familles de produits et leur séquence d'opérations .....	44
Tableau 4.4: Valeur du coefficient de masquage en fonction de la complexité de la forme des pièces .....	49
Tableau 4.5: Valeur des coefficients de masquage et d'accrochage en fonction du type de pièce	49
Tableau 5.1: Lacunes comblées et atouts repris par le processus proposé.....	57
Tableau 6.1: Indicateurs de performance .....	61
Tableau 6.2: Valeurs des durées minimales et de base pour masquage et l'accrochage .....	62
Tableau 6.3: Valeur du coefficient $\text{Coef}_1$ en fonction du degré de complexité .....	62
Tableau 6.4: Valeurs des coefficients $\text{Coef}_2$ et $\text{Coef}_{\text{prep}}$ .....	62
Tableau 6.5: Listes des clients par niveaux de réservation de capacité .....	65
Tableau 6.9: Écarts en part théoriques et parts réelles des familles de produits dans le flux total	79
Tableau 6.10: Indicateurs de performances du modèle AS-IS.....	80
Tableau 6.11: Indicateurs de performances du modèle AS-IS en fonction de la part de commandes urgentes .....	83
Tableau 7.1: Écarts types et moyennes mensuels sur le volume reçu avec une demande stable...	87
Tableau 7.2 : Écart types et moyennes des taux de service mensuels en fonction du type de commande avec une demande stable .....	89



Tableau 7.3: Écart types et moyennes des heures de bains utilisées mensuellement en fonction du type de commande avec une demande stable.....	91
Tableau 7.4: Écart types et moyennes mensuelles sur le volume reçu avec une demande variable .....	93
Tableau 7.5: Écart types et moyennes des taux de service mensuels en fonction du type de commande avec une demande variable .....	97
Tableau 7.6: Écart types et moyennes des heures de bain utilisées mensuellement en fonction du type de commande avec une demande variable .....	99
Tableau 7.7: Apports du modèle proposé avec une demande très variable .....	99



## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Structure du mémoire .....	5
Figure 3.1: Cycle de validation en simulation d'après Ulgen et al. (2006).....	34
Figure 6.1: Valeur du coefficient K en fonction du mois de l'année.....	64
Figure 6.2: Extrait du modèle de simulation : Réception et masquage.....	72
Figure 6.3: Représentation de l'inactivité pour les activités du bain .....	74
Figure 6.4: Représentation de l'inactivité pour les activités de masquage/démasquage .....	76
Figure 6.5: Délai de traitement moyen en fonction du nombre de réplifications .....	77
Figure 6.6: Taux de service moyen en fonction du nombre de réplifications .....	78
Figure 6.7: Parts moyennes des retards de 1 et 2 jours en fonction du nombre de réplifications ....	78
Figure 6.8: Occurrence des retards pour les commandes non urgentes .....	81
Figure 6.9: Occurrence des retards pour les commandes urgentes .....	81
Figure 6.10: Taux de service moyen en fonction de la part de commandes urgentes.....	84
Figure 6.11: Délai de traitement moyen en fonction de la part de commandes urgentes .....	85
Figure 7.1: Volume des commandes reçues chaque mois lorsque la demande est stable.....	86
Figure 7.2: Taux de service avec une demande stable - Modèle AS-IS.....	88
Figure 7.3: Taux de service avec une demande stable - Comparaison des modèles AS-IS et TO-BE .....	89
Figure 7.4 : Nombre d'heures de bain utilisées par mois avec une demande stable - Comparaison des modèles AS-IS et TO-BE.....	90
Figure 7.5: Volume reçu chaque mois lorsque la demande est variable .....	92
Figure 7.6: Volume reçu des commandes prioritaires avec une demande variable .....	93
Figure 7.7: Taux de service avec une demande variable.....	94
Figure 7.8: Taux de service des commandes prioritaires avec une demande variable.....	95
Figure 7.9: Taux de service des commandes non-prioritaires avec une demande variable .....	96



Figure 7.10: Nombre d'heures de bain utilisées mensuellement avec une demande variable.....	97
Figure 7.11: Nombre d'heures de bain utilisées mensuellement par les commandes prioritaires avec une demande variable.....	98
Figure 7.12: Nombre d'heures de bain utilisées mensuellement par les commandes non-prioritaires avec une demande variable .....	98
Figure 7.13: Taux de service en fonction du niveau de réservation.....	100
Figure 7.14 : Taux de service des commandes prioritaires en fonction du niveau de réservation .....	101
Figure 7.15 : Taux de service des commandes non prioritaires en fonction du niveau de réservation .....	102



## LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ANSI	American National Standard Institute
AT	Arrival time
CL	Chaîne logistique
COVERT	Cost over time
CPFR	Collaborative planning forecasting and replenishment
CR	Critical ratio
CRP	Continuous replenishment programs
EDD	Earliest-due-date
EDI	Échange de données informatisées
FC	Flow control
FIFO	First in first out
FLNQ	Fewest lots at the next queue
LB	Line balance
LPT	Longest processing time
LWKR	Least remaining work
MST	Minimum slack time
MTS	Manufacturier en traitement de surface
MWKR	Most remaining work
ODD	Operation due date
PCC	Production capacity commitment
PME	Petites et moyennes entreprises
QF	Quantity flexible
RCP	Réservation de la capacité de production



RND	Random selection
SCM	Supply chain management
SGC	Système de gestion des commandes
S/OPN	Slack per remaining operation
SPT	Shortest processing time
SRT	Shortest remaining processing time
VICS	Voluntary industry commerce standards
VMI	Vendor managed inventory



## LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A – PROCESSUS GLOBAL DE TRAITEMENT DES COMMANDES .....	111
ANNEXE B – VALIDATION DU MODÈLE AS-IS : CONVERGENCE DES INDICATEURS DE PERFORMANCE .....	119
ANNEXE C – RÉSULTATS DE SIMULATION .....	122



## CHAPITRE 1 INTRODUCTION

### 1.1 Introduction

Dans le secteur du traitement de surface pour l'aéronautique au Québec, le manque de collaboration entre les acteurs de la chaîne logistique (CL) aéronautique engendre une insatisfaction de la demande en termes de performances logistiques. En effet, la totalité des manufacturiers du secteur possède l'expertise et les infrastructures suffisantes pour répondre à la demande. En revanche, les manufacturiers témoignent de pics de demande engorgeant leur plancher de production. Ces afflux de demande sont imprévisibles et d'intensité variable : jusqu'à 80% de l'augmentation du nombre d'encours en une seule semaine, d'après les témoignages d'un expert et les observations faites lors d'un stage. La collaboration est ainsi un aspect majeur pour les relations qu'entretiennent ces acteurs : elle permet d'échanger des informations clés qui permettent aux organisations de mieux répondre à la demande. La CL aéronautique gagnant en complexité, il apparaît essentiel de développer la recherche dans la construction de nouvelles relations industrielles entre les acteurs (Alfalla-Luque, Medina-Lopez, & Schrage, 2013). Cela concerne particulièrement les prestataires en traitement de surface pour l'aéronautique, pour lesquels la question de l'utilisation de la capacité de la production est une source d'améliorations possible portant sur la planification des ressources humaines, les efforts de formation et la satisfaction de la clientèle. L'étude qui est présentée dans ce mémoire a pour but d'évaluer la faisabilité du point de vue du sous-traitant d'une approche collaborative par réservation de la capacité de production d'un manufacturier en traitement de surface aéronautique (MTS), dont le profil est représentatif du secteur. Autrement dit, cette étude est limitée à ce secteur particulier. Il ne s'agit donc pas de proposer un contrat de réservation de la capacité de production généralisé et réutilisable dans n'importe quelle chaîne logistique. Nous cherchons plutôt à évaluer les impacts des éléments principaux d'une solution qui s'inscrit dans un contexte inspiré de la situation vécue par le partenaire industriel de ce projet. Ainsi, dans la mesure où l'accès à l'information spécifique n'a pu être réalisé comme il était initialement prévu, le contexte expérimental de ce projet est ainsi limité à un cas d'étude inspiré d'un cas réel et non d'un cas réel. Par conséquent, nous ne modélisons pas avec précision le système de production de notre partenaire. En revanche, nous identifions des comportements qui se distinguent clairement dans l'analyse du cas d'étude réalisée initialement avec un sous-traitant de la région de Montréal, que nous modélisons de manière réaliste. En définitive, cette étude se concentre sur une comparaison



de deux approches dans un contexte réaliste. La première est issue d'un processus actuel comportant des lacunes, la deuxième se base sur de la réservation de la capacité de production. Le but est de se prononcer sur la faisabilité de la proposition et ces impacts potentiels. Nous analysons pour cela l'impact de la proposition sur les performances du MTS et nous définissons une règle d'ordonnancement ainsi que la capacité de la production dans le cas d'un MTS.

Les sous-traitants jouent un rôle clé dans l'industrie aéronautique et répondent aux besoins des grands donneurs d'ordres (avionneurs) en termes de spécifications techniques et de cadence de production. Ce sont d'ailleurs ces mêmes donneurs d'ordre qui certifient directement les aptitudes des manufacturiers à répondre à leurs exigences techniques. C'est le cas en particulier des manufacturiers en traitement de surface qui interviennent à la fin de la CL aéronautique. Il s'agit très souvent de la dernière transformation des pièces avant leur assemblage final chez le donneur d'ordre. Cette activité essentielle de la chaîne logistique aéronautique rassemble un très grand nombre de petites et moyennes entreprises (PME), parfois familiales, dont la taille se situe souvent entre 100 et 200 employés. La concurrence est parfois importante pour quelques une d'entre elles, car elles se partagent le même bassin industriel. La demande à laquelle les manufacturiers doivent répondre est très diverse.

Or, de nos jours, ce sont surtout les rapports de taille et de force qui règlent les relations collaboratives entre les acteurs de la CL aéronautique au Québec. Les grands donneurs d'ordre imposent leurs souhaits au regard des spécifications techniques et de la cadence de production sans prendre en compte les contraintes subies par les sous-traitants. Ainsi, les PME du traitement de surface ne traitent pas directement avec les grands donneurs d'ordres, mais plutôt avec les sous-traitants de deuxième et troisième niveau. Ces sous-traitants retardent la plupart du temps leurs commandes afin d'obtenir les meilleurs prix et la meilleure disponibilité auprès des manufacturiers. On peut dès lors qualifier le comportement des clients comme opportuniste. De fait, les clients passent leurs commandes au dernier moment et imposent des délais de livraison agressifs. Les commandes sont donc fréquemment sujettes à des changements de priorité dus aux appels des clients qui réclament une accélération du traitement.

En conséquence de leur position dans la chaîne logistique, les manufacturiers, et en particulier ceux du secteur du traitement de surface, sont directement impactés par l'effet dit « coup de fouet ». À l'opposé, la demande auprès des donneurs d'ordres est relativement stable en raison des



programmes de production établis sur le long terme. Cette demande ne lui est pas communiquée, en tout cas pas de manière suffisamment détaillée pour anticiper la demande de la part de leur clientèle. Ce dernier souffre ainsi d'un manque de visibilité qui l'empêche de prévoir sa propre charge de travail ce qui impacte à un moment donné sa capacité à répondre à la demande dans la mesure où le personnel qu'il emploie est qualifié. En effet, une augmentation du personnel, même temporaire, requiert une période de formation et de certifications pour satisfaire aux conditions imposées par les donneurs d'ordre. À ce problème de non-échange d'information s'ajoute le comportement perpétuellement changeant des clients au niveau des priorités attribuées aux commandes. Les manufacturiers sont constamment en train d'actualiser leur plan de production pour être conforme aux demandes de changement. Ainsi, les commandes dont la priorité n'a pas été modifiée sont plus en retard et les changements de priorité induisent une pression sur le plancher de production. En définitive, les manufacturiers sont toujours en train de réagir aux urgences plutôt que de planifier l'utilisation de leur capacité de production. Les problèmes décrits engendrent indubitablement une augmentation des durées de traitement et du nombre de retards. Les clients des prestataires en traitement de surface ne sont bien sûr pas les seuls affectés par ces mauvaises performances. C'est la CL aéronautique au Québec tout entière qui souffre de ce manque évident de collaboration et d'échange d'informations dans le cadre d'une planification rationnelle de l'utilisation de la capacité des sous-traitants en fin de chaîne logistique. Beaucoup d'initiatives ont été prises pour résoudre ces problèmes, mais aucune d'elles ne se basait sur une évaluation rationnelle de la capacité de production et de son utilisation. Pourtant, la collaboration entre les membres de la CL aéronautique est primordiale pour réduire l'incertitude de la demande (Muckstadt, Murray, Rappold, & Collins, 2001) et atteindre de meilleures performances. Cette recherche vise à apporter une contribution aux pratiques collaboratives et d'échanges au sein de la CL aéronautique au Québec avec une approche innovante basée sur la réservation de capacité de production.

Notre recherche basée sur un cas d'étude propose d'analyser la faisabilité d'une nouvelle façon de collaborer basée sur de la réservation de la capacité de production, La figure 1.1 montre la structure de notre étude visant à développer notre approche innovante. Les chapitres 1, 2 et 3 concernent le positionnement scientifique, c'est-à-dire l'identification des problèmes que le secteur du traitement de surface pour l'aéronautique rencontre. Cette partie se concentre plus particulièrement sur le cas d'une PME québécoise spécialisée dans le domaine. La revue de littérature permet de recenser les



principales pratiques collaboratives pouvant être de potentielles solutions aux problèmes cités. Cette partie se termine par un chapitre qui présente les objectifs, les hypothèses et la méthodologie de recherche. La deuxième partie s'applique à proposer une nouvelle façon de collaborer : il s'agit de la réingénierie du processus d'affaires impliquant le manufacturier et ses clients. Un chapitre se concentre sur l'analyse du processus actuel et la modélisation du processus basé sur une collaboration améliorée. Ensuite vient un chapitre sur l'implémentation du modèle avec le logiciel de simulation. Les données sortantes serviront à l'analyse du processus amélioré et feront l'objet d'un chapitre où l'on comparera les résultats des deux processus de collaboration. Le mémoire se terminera sur une synthèse des travaux et avec une conclusion sur les contributions, les recommandations et les limitations de la recherche. On s'intéressera aussi aux travaux futurs potentiels.



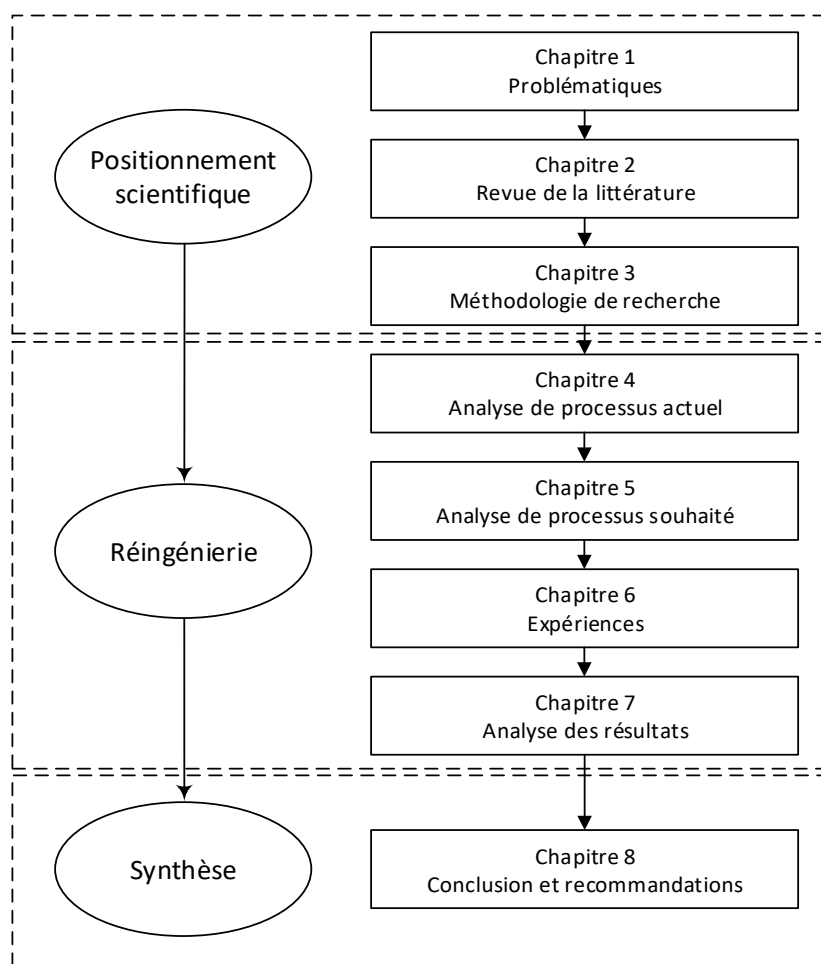


Figure 1.1: Structure du mémoire



## CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

### 2.1 Introduction

Afin de tester une approche qui se veut innovante et de se prononcer sur sa faisabilité, il est nécessaire de se pencher sur les approches proposées dans la littérature. Comme la relation entre les MTS et ses clients impacte la manière d'ordonnancer les commandes et l'utilisation de la capacité de production, cette analyse de la littérature se concentre sur trois thématiques principales.

Premièrement, cette étude se positionne dans le thème général de la collaboration client-fournisseur. Ainsi, notre revue de littérature commence par une étude des approches collaboratives afin d'identifier les pratiques largement rependues et en analyser les caractéristiques, forces et faiblesses, et aussi afin de s'en inspirer. Ainsi, la collaboration au niveau de la prévision de la demande et la planification de la production est pratiquée depuis longtemps par de nombreux acteurs de l'industrie. En revanche, la théorie et la littérature qui s'y rattachent sont plus récentes et n'ont été développées qu'aux environs de la deuxième moitié des années 90 (Barratt, 2004). Ce chapitre présente ainsi dans un premier temps les principales approches collaboratives en logistique et planification des opérations.

Deuxièmement, puisque cette étude se concentre plus particulièrement sur les approches collaboratives de type contractuelles avec réservations de capacité, cette analyse de la littérature porte aussi sur les contrats de réservation utilisés dans de multiples secteurs.

Troisièmement, puisque cette étude analyse plus particulièrement le point de vue du sous-traitant, et notamment sa capacité à mettre en œuvre des mécanismes de gestion des opérations capables d'honorer des engagements de réservation de capacité, cette analyse de la littérature présente une analyse critique des règles d'ordonnancement.

En somme, cette section est un recenseur des pratiques collaboratives et de réservation qui sont susceptibles d'apporter des solutions aux MTS. On s'intéressera aussi plus particulièrement aux contrats par réservation de capacité de production ainsi qu'à la gestion des priorités et de l'ordonnancement. Enfin, cette section se terminera par une analyse critique de l'état de l'art pour démontrer la pertinence de la présente recherche en mettant en avant les lacunes des textes analysés.



## 2.2 Pratiques collaboratives

Les problématiques liées à la collaboration ont été largement traitées, en particulier depuis les années 90-2000, et celles que nous allons étudier concernent la CL dans le secteur manufacturier, du transport ou de la vente au détail. Dans notre cas, il est pertinent d'analyser les pratiques existantes et largement répandues, mais qui ne sont pourtant pas forcément utilisées dans le traitement de surface. Ainsi, *Vendor managed inventory* est à la base des autres pratiques que sont les *Continuous replenishment programs* (CRP) (Disney & Towill, 2003), *Quick response* (QR), *Efficient consumer response* (ECR) et *Collaborative planning forecasting replenishment* (CPFR)

### 1. *Vendor managed inventory* (VMI) et *Continuous replenishment programs* (CRP)

Les stratégies collaboratives VMI et CRP sont généralement considérées comme proches et largement usitées dans le domaine de la vente au détail et de la grande distribution. Elles sont toutes deux basées sur le partage de l'information entre le client et le fournisseur. Lee et al. (2000) évaluent toute la valeur ajoutée de telles démarches dans l'optique d'une réduction de l'effet coup de fouet (*Bullwhip effect* ou *Whiplash effect*) connu pour être un problème dans la gestion de la CL (Li & Liu, 2013). L'expérience de Campbell Soup avec ces stratégies a d'ailleurs été fructueuse (Clark & McKenney, 1994; Fisher, 2003; Lee, So, & Tang, 2000). Certains ont évalué les gains obtenus par l'entreprise Campbell Soup et ils ont montré qu'à partir d'un échange de données informatisées (EDI), le CRP implémenté a permis d'augmenter significativement les performances dans la gestion des stocks (Cachon, G. & Fisher, 1997). Les gains portent sur les niveaux d'inventaires. Par simulation, ils ont pu montrer que les niveaux de stocks pouvaient réduits de 66% en moyenne tout en maintenant ou augmentant la satisfaction de la demande.

En ce qui concerne la méthode VMI, elle permet de diminuer les stocks et les coûts associés. Les fournisseurs possèdent des données sur les niveaux de stocks de leur client et s'assurent que les extremums fixés (maximum et minimum) soient respectés. Les données doivent être partagées et réactualisées de manière régulière, sur une base journalière. Le client aussi a un aperçu sur les niveaux de stock. Ainsi, les processus d'affaires liés à la gestion des stocks sont simplifiés, car réduits. La méthode permet surtout aux fournisseurs de connaître les fluctuations de la demande et ainsi répondre à la demande plus rapidement en évitant les goulots d'étranglement et les ruptures de stock. En fait, les gains apportés par la méthode sont nombreux : les exemples de Wal-Mart et Procter & Gamble montrent que l'on peut aussi limiter le nombre de retards, c'est-à-dire améliorer



le taux de service, améliorer le niveau de service au consommateur et réduire le temps du cycle de prise de commande (Yao & Dresner, 2008). Dans le cas de Campbell Soup, le taux de service a été augmenté ou au moins maintenu (Cachon, G. & Fisher, 1997). Enfin, on peut utiliser le VMI pour contrebalancer les conséquences de l'effet coup de fouet. D'abord grâce à la réduction du nombre d'acteurs dans le processus de prise de décision et ensuite grâce à la réduction des temps morts liés à la circulation des informations entre ces mêmes acteurs (Disney & Towill, 2003).

En effet, l'exécution de la méthode VMI se base sur une collaboration étroite au niveau de la gestion des stocks : le client partage les informations sur le niveau de ses stocks avec le fournisseur avec des actualisations régulières. La méthode *Kanban* peut être associée à la méthode VMI dans la mesure où les informations sur la circulation des *Kanban* viennent alimenter les outils VMI. C'est le fournisseur lui-même qui gère alors l'approvisionnement, il anticipe les variations de la demande et optimise les volumes de stocks en agissant sur l'exécution de sa propre production. Il déclenche les livraisons en fonction des dates qu'il a fixées. En somme, le client délègue les rôles clés de la prise de décision dans le processus d'approvisionnement au fournisseur et il lui transfère même parfois des responsabilités financières (Waller, Johnson, & Davis, 1999). Certains (Çetinkaya & Lee, 2000) sont allés plus loin dans la méthode en proposant une synchronisation des livraisons avec le contrôle des stocks du client. En effet, dans l'approche classique du VMI, le fournisseur est encore autonome dans ses décisions de transport et de livraison des produits.

## 2. *Quick Response (QR), Efficient Consumer Response (ECR) et Collaborative Planning Forecasting and Replenishment (CPFR)*

L'approche QR a été développée dans le but de répondre aux problèmes posés par des niveaux de stock trop important ou pas assez. Ces deux états impliquent respectivement une baisse inappropriée des prix : 25% des ventes (Frazier, 1986). Et un bas niveau de service (Iyer & Bergen, 1997). Iyer et Bergen (1997) nous informent aussi que pour exécuter cette approche se concentrant sur la réduction des délais de traitement, il faut passer les commandes au plus près du début de la saison de vente. Iyer a étudié l'impact de l'échange d'informations entre client et fournisseur dans le cadre d'une stratégie QR. Suri (1998) énonce dans « Quick Response Manufacturing » les principaux apports de la méthode QR (Suri, 1998) : mettre l'accent sur la production ; clarifier les stratégies *time-based* ; établir des principes pour la réingénierie de processus manufacturier et le



choix d'équipements ; développer une nouvelle approche de la planification et du contrôle du matériel ; et développer de nouveaux indicateurs de performances.

Concrètement, l'exécution d'une stratégie QR se base sur : l'identification des gaspillages de temps au lieu de se concentrer sur les coûts ; créer des cellules de production QR rassemblant des ressources dédiées et concentrées au même endroit ; limiter la charge de travail des organes de production à 75%-85% ; et étendre les mesures à toute l'entreprise.

Les gains apportés par la méthode sont des réductions de temps de réponse : 75% de gain de temps lorsqu'il s'agit d'un produit fraîchement introduit, jusqu'à 90% pour des produits déjà existants. En outre, des gains sont obtenus avec la qualité et la réduction des coûts.

Évoquons maintenant la stratégie ECR. On retrouve plusieurs définitions de l'ECR mais celles de Kurt Salmon associates (1993), Coyle et al. (1996) et Europe ECR (1995) - que rappelle Svensson (2002) dans son article - s'accordent pour dire que l'ECR est une approche permettant de répondre mieux et plus vite aux besoins des consommateurs en bout de CL et ce à moindre coût. Svensson (2002) énonce les quatre piliers de l'ECR (Coyle, Bardi, & Langley, 1996; Salmon, 1993; Svensson, 2002) : optimiser les gammes de produits ; optimiser le réapprovisionnement ; optimiser la promotion des produits ; et optimiser l'introduction de nouveau produit. Pour que l'effet de ces actions soit perceptible, il est nécessaire qu'elles soient développées au sein de tous les acteurs de la CL considérée. Concrètement, il s'agit de : définir les besoins du consommateur ; identifier les produits redondants, étroitement liés et interchangeables du point de vue du consommateur ; identifier les produits redondants, étroitement liés et interchangeables du point de vue du revendeur/distributeur ; identifier des catégories de produits et leur rôle ; définition d'indicateurs de performance et d'objectifs ; développement de stratégies d'approvisionnement visant à atteindre les objectifs définis ; définition de la gamme de prix et des tactiques de mises en œuvre des stratégies ; planification d'un plan d'affaires ; et suivi périodique du plan d'affaires.

ECR et CPFR sont des pratiques collaboratives là encore très répandues dans l'industrie manufacturière et la grande distribution. Très proches l'une de l'autre, l'ECR se veut être l'ancêtre du CPFR. En effet, le CPFR est le maillon manquant entre l'ECR et la collaboration totale entre client et fournisseur (Tuominen, 2004). Alors que l'ECR se limite à un développement de pratiques et de stratégie, le CPFR va plus loin en proposant des actions itératives de prises de commandes fermes. Pour ce qui est du CPFR, son apparition date de 1996 et l'approche est un moyen pour



intégrer de manière exhaustive la collaboration dans le *Supply Chain Management* (SCM) (Lapide, 2010). Voici les étapes principales pour exécuter un programme CPFR d'après l'association Voluntary Inter Industry Commerce Standards (VICS) (Quintero & Li, 2012):

- 1<sup>ère</sup> étape :

Développer un accord de collaboration en identifiant les produits, les règles, les intervenants, la fréquence d'échange d'information et les objectifs qui définiront l'accord. Il s'agit d'une étape de planification.

- 2<sup>ème</sup> étape :

Constituer un plan d'affaires commun. On définit un plan d'action pour fixer les prix, définir les calendriers de vente, l'emplacement des stocks aussi. L'essentiel est que les parties prenantes partagent la même vision stratégique. Il s'agit encore d'une étape de planification.

- 3<sup>ème</sup> étape :

Établir les prévisions de vente. Chaque intervenant partage ses propres prévisions, elles sont ensuite pondérées pour former le plan de prévision final.

- 4<sup>ème</sup> étape :

Identifier les exceptions au sein des prévisions de ventes. Requiert une recherche collaborative d'éléments permettant d'identifier ces exceptions.

- 5<sup>ème</sup> étape :

Établir un plan d'action collaboratif pour traiter les cas d'exception.

- 6<sup>ème</sup> étape :

Établir les prévisions de commande. Il s'agit de mettre en place un plan de réapprovisionnement visant à satisfaire la demande prévue. On discute des fréquences de livraison, tailles de lot et des coûts. Parfois des problématiques de logistique et de transport interviennent, elles doivent faire l'objet d'un accord.

- 7<sup>ème</sup> étape :

Identifier les exceptions pour les prévisions des commandes.

- 8<sup>ème</sup> étape :



Établir un plan d'action collaboratif pour traiter les cas d'exception.

- 9<sup>ème</sup> étape :

Générer les commandes. C'est le lancement du processus de réapprovisionnement.

Le développement récent du commerce électronique et surtout les outils électroniques de collaboration a rendu possible la mise à jour continue des prévisions et des plans d'affaires communs (Cassivi, 2003), ce qui rend le CPFR d'autant plus efficace et attractif. Ce qui est aussi intéressant avec le développement de la méthode CPFR, c'est le développement simultané des bonnes pratiques pour la collaboration au sein de la CL. En effet, les points clés de Diehn (2001) pour construire une collaboration fructueuse sont (Poler, Hernandez, Mula, & Lario, 2008) : identifier les « champions » de l'idéologie CPFR, gagner la confiance et l'implication des chefs de file, mettre en place une équipe hautement fonctionnelle, donner une grande visibilité aux prévisions, communiquer les résultats, améliorer continuellement le processus et construire un réseau avec d'autres organisations. Finalement, l'approche CPFR a permis d'apporter la réelle rupture qu'on attendait des EDI, des stratégies VMI, CRP et ECR (Sherman, 1998). En effet, CPFR est la seule approche parmi celles citées faisant intervenir une réelle collaboration sur la génération des prévisions alors que les précédentes tentatives n'ont fait qu'accélérer la création d'informations sans assurer le partage des plus pertinentes.

On peut conclure sur les pratiques collaboratives en disant qu'il s'agit d'un ensemble d'engagements contractuels à propos de processus d'établissement de commande. Il existe dans la littérature des pratiques qui portent sur d'autres types d'engagements présentés dans la section suivante.

## **2.3 Contrats de réservation de la capacité**

En analysant la littérature, on prend conscience de l'existence d'un type de collaboration particulière qui s'exécute à travers une approche par contrat de réservation. Ces méthodes nous intéressent tout particulièrement, car elles sont une source d'inspiration par certains aspects à l'approche que nous proposons. Cette présente revue permettra d'identifier les lacunes parmi ces pratiques. Il s'agit de pratique de réservation de capacité. On parle alors bien souvent de contrat, car les parties prenantes ne s'engagent plus sur des méthodes collaboratives, mais sur des



commandes fermes. Nous observons l'existence de plusieurs familles de contrat de réservation de capacité :

### 1. Contrat par option et *Quantity flexibility contracts* (QF)

La collaboration ne requiert pas forcément un échange d'information et peut se réaliser à travers des contrats dits par option. Il s'agit là pour un manufacturier et un client de faire un pas l'un vers l'autre. Cette pratique s'est développée surtout avec l'essor de la sous-traitance qui s'est popularisée dans les années 90. En effet, l'externalisation de la production dans le secteur de l'électronique est passée de 15% à 40% entre 1998 et 2000 (Xu, H., 2010). Ainsi, l'externalisation rend plus difficile la gestion de la CL devenue moins centralisée et l'incertitude de la demande pour les fournisseurs s'est accrue. Pour répondre à ce changement des comportements des acheteurs, les contrats par options ont été élaborés, on peut trouver plusieurs nuances de ces contrats. Tout d'abord, parlons du principe général du contrat par option. Avec un tel contrat, le client peut modifier la quantité de produits commandée au dernier moment en payant une prime : *option premium* (Gomez\_Padilla & Mishina, 2009). En pratique, ce type de contrat implique aussi une modification du prix d'achat des produits au moment où la modification de la quantité est demandée. Ainsi, le client paie pour avoir le droit de modifier la quantité, la commande dont la quantité est modifiable est aussi appelée (*option order*) (Xu, H., 2010). Lorsque la demande auprès du client/revendeur est modifiée, celui-ci demande un supplément de produit au fournisseur que l'on peut appeler commande instantanée (*instant order*) (Xu, H., 2010). Cette approche présente un avantage : il y a possibilité d'assurer l'approvisionnement malgré une incertitude dans la demande et la tarification (Xu, N., 2005). Un autre bénéfice est celui procuré une baisse des prix ou des temps de traitement amoindris, car le fournisseur a déjà reçu une compensation avec l'option. Une compensation qui lui permet de réagir à la variabilité de la demande, par exemple en achetant des heures supplémentaires ou des heures de travail occasionnelles pour des opérations ne requérant pas de compétences certifiées (et donc pas de formation).

Certains comme Wang et Liu (2007) ont analysé la tarification de ce type de commande en deux étapes. Ils appellent le tarif de la commande par option *option price*, c'est le prix à payer pour avoir le droit de modifier la commande au dernier moment (Wang, X. & Liu, 2007). Les produits achetés en supplément suivent le prix de l'exercice de l'option (*exercise price*) (Wang, X. & Liu, 2007).



Aussi, Wang et Tsao (2006) proposent un contrat par option un peu particulier. Celui-ci prévoit que l'acheteur puisse souscrire à trois options différentes portant sur une quantité modifiable (*quantity flexible* (QF)) : acheter moins, plus et la possibilité d'acheter moins ou plus. Cette dernière option est appelée ajustement bidirectionnel (Wang, Q. & Tsao, 2006). Cette option permet de limiter des comportements induits par les contrats précédemment décrits. En effet, si on ne donne au client que la possibilité de commander plus, il aura tendance à commander toujours moins et à systématiquement exercer son droit d'option additive. À l'inverse, si on n'autorise qu'à commander moins, cela engendrera des commandes agressives et des stocks trop importants. L'ajustement bidirectionnel doit permettre de répondre à ce dilemme et de réduire l'effet coup de fouet.

Tsay (1999) est un des premiers à définir la notion de QF. Il y explique que le client/acheteur réserve une quantité de produits auprès de son fournisseur et se doit de commander un minimum de son engagement (Tsay, 1999). De son côté, le fournisseur doit être capable de fournir un maximum de produit, supérieur à l'engagement nominal. Sethi (2004) reprend l'idée pour l'appliquer à un cas impliquant de multiples périodes (Sethi, Yan, & Zhang, 2004). Tsay (1999) décrit le mécanisme d'achat : on considère trois temps :  $t_1$  (début étape 1),  $t_2$  (fin étape 1, début étape 2) et  $t_3$  (fin étape 2). À  $t_1$ , l'acheteur passe commande une quantité  $q$  d'un produit du fournisseur à un prix  $p$ . La décision est faite en se basant sur : l'information disponible concernant la prévision de la demande du consommateur final à  $t_3$ ; la distribution des prix du marché au comptant (*spot market*) à  $t_2$ ; le fait que l'acheteur aura une actualisation de la prévision de la demande à  $t_2$ ; le fait que l'acheteur peut exercer une option à  $t_2$  et acheter une quantité supplémentaire  $q_{\text{sup}}$  n'excédant pas  $\delta q$  avec  $0 < \delta < 1$  et à un prix  $p_c > p$ ; le fait que l'acheteur peut acheter à  $t_2$  n'importe quelle quantité  $q_{\text{spot}}$  au marché au comptant au prix de la tendance; le fait que l'acheteur perd un revenu  $r$  pour chaque consommateur insatisfait à  $t_3$ ; et le fait que les produits invendus sont soldés au prix  $s$ .

## 2. Backup agreement

Les contrats *backup agreement* constituent un sous-groupe des contrats par options et QF. Iyer et Eppen (1997) décrivent un exemple tiré de l'industrie de la mode se basant sur une entente de type *backup agreement*. Le revendeur d'article de mode et cinq de ses fournisseurs ont établi un accord selon lequel (Eppen & Iyer, 1997) :



L'acheteur peut réserver une quantité d'articles ; le fournisseur ne délivre qu'une partie de la réservation et retient le reste jusqu'au début de la saison de vente ; le fournisseur s'engage à livrer très rapidement ; et l'acheteur devra payer une pénalité de 20% du coût si ses commandes dépassent l'engagement initial.

### 3. *Buy-back contracts et revenue-sharing contracts*

Les notions de *buy-back* et de *revenue-sharing* représentent un autre sous-groupe des contrats par options, ils impliquent des comportements solidaires de la part des clients et fournisseurs. Tout d'abord, les contrats *buy-back* ont été étudiés par Mantrala et Raman (1999) : le client peut tout simplement renvoyer tous les articles invendus au fournisseur après la saison de vente (Mantrala & Raman, 1999). Hou et al. (2010) analysent plus précisément le cas d'un client/revendeur qui doit faire face à des situations de rupture de stock (Hou, Zeng, & Zhao, 2010).

Pour ce qui est du *revenue sharing*, Cachon et Lariviere (2005) en ont étudié les forces et les faiblesses. Ils décrivent le mécanisme de la méthode : les revenus du revendeur/client dépendent de la quantité de produits vendus aux consommateurs finaux et ceux du fournisseur suivent la même tendance (Cachon, G. P. & Lariviere, 2005). Les auteurs prennent l'exemple d'un loueur de vidéos. Si les locations s'envolent, le loueur doit assurer le service à la clientèle, mais ne veut pas investir trop dans l'achat de vidéos qui ne lui serviraient plus ensuite (phénomène de saisonnalité). Il s'engage à partager les gains des locations avec le fournisseur si celui-ci s'engage à baisser les prix. Ainsi, le pic de demande génère une hausse des ventes/locations dont profitent à la fois au client et fournisseur. Les performances du *revenue sharing* et du *buy-back* sont très proches, Cachon et Lariviere (2005) assurent même qu'ils sont équivalents.

### 4. *Deductible reservation contracts (DR)*

Dans une autre perspective de soutien envers le fournisseur, on retrouve les contrats par frais déductibles. À travers de tels contrats, le client/acheteur réserve une part de la capacité du fournisseur, et il doit s'acquitter d'un paiement pour cela. Au fur et à mesure que le client passe ses commandes, Jin et Wu (2007) nous expliquent que le fournisseur rembourse le client sur la base dudit paiement. Ils affirment qu'un équilibre de Nash peut être établi avec un ou  $n$  clients (Jin & Wu, 2007). Erkoc et al. (2005) détaillent dans leur article comment le contrat DR peut encourager le fournisseur à étendre sa capacité de production. En effet, avec un contrat de type DR, le fournisseur prend moins de risque à développer ses moyens de production (Erkoc & Wu, 2005) :



si son (ses) client(s) ne respecte(nt) pas les engagements de départ, il a déjà reçu une forme de compensation à travers le paiement initial. Les auteurs nous disent que ce type de contrat est particulièrement attractif en termes de partage des risques pour le secteur des hautes technologies, car la demande est très volatile et la capacité de production requiert beaucoup de ressources financières. Jin et Wu (2007) comparent les approches DR et *take-or-pay* qui est une approche décrite ci-après.

### 5. *Take-or-pay contracts*

Une autre forme d'engagement ferme de la part du client/acheteur est le contrat de type *take-or-pay*. Ce type de contrat intervient généralement pour des marchés sur le long voir le très long terme comme on peut en avoir dans le secteur international de l'énergie. C'est justement le cas que Creti et Villeneuve (2004) traitent dans leur article. Ils évoquent les accords conclus entre les états européens et les états, hors Europe, fournisseurs de gaz naturel et parlent de période de l'ordre de 30 années (Creti & Villeneuve, 2004). La Commission européenne rappelle d'ailleurs que ces contrats doivent permettre de partager les risques d'investissement pour le fournisseur et les risques liés à la rupture de l'approvisionnement pour le client. Comme le secteur de l'énergie est sujet à des régulations, Creti et Villeneuve (2004) affirment qu'il faut les considérer dans le calcul de la durée optimale du contrat. Les quatre règles d'investissement dans de telles circonstances sont les suivantes (Williamson, 1979) :

Spécifier quels types investissements seront faits et pour quel type d'équipement ; préciser la localisation des installations d'équipements ; préciser les spécificités des ressources humaines requises par les investissements ; et évaluer les efforts financiers nécessaires en cas d'arrêt de paiement d'un ou plusieurs clients.

Une autre étude sur le marché européen de l'énergie renouvelable montre les contrats *take-or-pay* peuvent inclure des clauses spéciales sur le paiement si des moyens de production différents sont utilisés (Johnston, Kavali, & Neuhoff, 2008). Namikawa (2003) traite du cas japonais et de l'import de gaz naturel liquéfié. Il décrit et précise les avantages du contrat *take-or-pay* et nous dit que chaque client réserve une quantité de gaz par année (*take-or-pay percentage*) (Namikawa, 2003). Pour que le contrat lui soit le plus profitable, il doit contracter un *take-or-pay percentage* le plus bas possible sur la plus longue période possible (Namikawa, 2003). Glachant et Hallack (2009) partent du cas bolivo-brésilien traitant du marché du gaz naturel là encore. L'exécution d'un contrat



*take-or-pay* requiert trois phases (Glachant & Hallack, 2009) : Signature du contrat, autorisation de commencer les investissements négociés ; réalisation des investissements et commencement effectif du commerce de gaz ; et calibration de la production jusqu'à saturation de la capacité.

Kaiser et Tumma (2003) évoquent l'exécution d'un contrat *take-or-pay* entre consommateur et fournisseur d'éthylène. Ils mentionnent notamment la problématique posée par un différentiel au niveau de la consommation et de la production : il faut dans ce cas prévoir des solutions de stockage dépendantes de la nature du produit échangé et permettant de maintenir la validité du contrat (Kaiser & Tumma, 2004).

Tableau 2.1: Comparaison entre DR, take-or-pay, QF, Buy-back et Options

(Jin & Wu, 2007)

Critères	Type de contrat				
	DR	Take-or-pay	QF	Buy-back	Option pricing
Est-ce que le prix de vente en gros ( $w$ ) est une des variables ?	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Est-ce que l'excès de la demande dépasse la capacité ( $E$ ) ?	Oui	Oui mais $E = 0$ est la meilleure stratégie du manufacturier	Non	Non	Non
Est-ce que la coordination de la chaîne logistique est possible ?	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Est-ce que les solutions pour une chaîne logistique coordonnée sont individuellement possibles ?	Oui	Pas toujours	Oui	Oui	Oui
Interaction avec les clients ?	Oui	Oui	Non	Non	Non
Est-ce qu'un client peut recevoir plus (ou moins) que la quantité réservée ?	Oui	Oui	À la hauteur de $q(1 + u)$ et au moins $q(1 - v)$	Pas plus que ce que la commande stipule	À la hauteur des commandes du client plus les options

On voit par ailleurs que Jin et Wu (2007) ne définissent pas les contrats QF, *buy-back* ou par options comme des pratiques de réservation de capacité contrairement à Hazra et al. (2009).

## 6. *Pay-to-delay contracts*

En 1997, Brown et al. définissent ce qu'est un contrat de type de *pay-to-delay*. Le client réserve une partie de la capacité du fournisseur à un certain prix qui est moins important que s'il n'avait pas été réservé (Brown & Lee, 1997). Cette capacité réservée est comme un réservation de type *take-or-pay*. C'est-à-dire que même si le client n'utilise pas toute la capacité réservée, il doit payer tout de même (Brown & Lee, 1997). Le deuxième aspect du contrat vient donner la nuance entre les contrats *take-or-pay* et *pay-to-delay* : le client peut obtenir de la capacité supplémentaire plus



tard, mais à un prix plus important que celle réservée et dans la limite de ce que peut donner le fournisseur.

D'autres ont appliqué le principe du contrat *pay-to-delay* au cas d'un manufacturier et ont procédé à une analyse des risques. Ils n'ont pas cependant cherché à mesurer les performances d'un tel contrat, mais plutôt de tester une méthode d'évaluation des risques (Wu, Yue, Yamamoto, & Wang, 2006). Certains ont procédé eux aussi à une analyse des risques en utilisant un contrat de type *pay-to-delay* et ils sont même allés jusqu'à qualifier ce type de contrat *commitment-option* (Buzacott, Yan, & Zhang, 2011).

## 7. Réservation de capacité et marché au comptant

L'une des pratiques de réservation de capacité que l'on retrouve de manière très récurrente est la dualité de l'approvisionnement. Dans ce cas de figure, l'acheteur se procure ce dont il a besoin à la fois grâce à un contrat de réservation et lorsqu'il a besoin d'un surplus de capacité, il s'adresse à ce que l'on appelle le marché au comptant (*spot market*). Le client ne s'adresse donc plus à son partenaire habituel et externalise son approvisionnement. On retrouve de très nombreux articles qui utilisent ce schéma.

Ainsi, Serel (2007) se base sur le cas d'un manufacturier qui contracte une entente multi périodes avec son fournisseur. L'entente est établie sur le long-terme, mais la demande du client manufacturier est sujette à une incertitude et une variabilité (Serel, D. a. A., 2007). De fait, ils se sont entendus pour que le client paye un montant fixe pour chaque période négociée. Le client achète et réserve ainsi de la capacité périodique. Le fournisseur s'engage quant à lui à répondre à ses besoins. Lorsque le client se rend compte que sa demande a évolué, il peut s'adresser au *spot market*. Serel (2007) conclut avec son travail en disant que ce type de contrat pousse le client à commander plus de produits en avance et permet aussi une meilleure utilisation de la capacité du fournisseur. Un problème similaire introduit la notion de période à durée inégale pour leur contrat multi période (Bassok, Bixby, Srinivasan, & Wiesel, 1997). Inderfurth et al. (2013) ont publié un article qui traite de l'approvisionnement selon deux sources : la réservation de capacité et le marché au comptant (Inderfurth, Kelle, & Kleber, 2013). Pour eux, le contrat de réservation de capacité doit être établi pour répondre à la demande du client sur le long terme et le marché au comptant pour le court terme. On retrouve donc une idée similaire à celle de Serel (2007). Inderfurth et al. (2013) précisent que le coût de la réservation doit être proportionnel au niveau de réservation



contractée. Leur travail a montré que cette approche est meilleure que celle impliquant un ou deux horizons mobiles.

Inderfurth et Kelle (2011) étudient dans un autre article la combinaison de la réservation et du recours au marché au comptant. Ils ont comparé les résultats de cette combinaison avec une approche basée sur un approvisionnement par le marché au comptant seul et ils ont observé que les résultats étaient bien meilleurs avec leur approche de combinaison même dans le cas de prix moyens bas (Inderfurth & Kelle, 2011). Ils ont aussi comparé leur méthode avec un approvisionnement sur le long terme uniquement en cas de grande variabilité du marché au comptant. Serel et al. (2001) ont de leur côté étudié un cas aussi basé sur du long-terme/court-terme et ont rajouté une discussion sur la gestion des stocks, notamment une combinaison des approches basées sur le stock minimum (*Basestock policy*) et la notion de *two-parts tariff policy* (Serel, D. A., Dada, & Moskowitz, 2001).

Van Norden et al. (2003) ont traité de la réservation de capacité dans le cas du transport. En effet, ils rappellent que les coûts de logistiques sont dus à 50% aux coûts de transport, mais encore trop négligés par la recherche. Cette fois-ci, ce n'est plus de la capacité de production qui est négociée, mais de la capacité de transport (van Norden & van de Velde, 2005). L'acheteur réserve de la capacité de transport et peut placer n'importe quel produit, pour n'importe quelle période, en échange d'un prix garanti fixe. Si l'acheteur a besoin de plus de capacité, il s'adressera au *spot market* (van Norden & van de Velde, 2005)

Hazra et Mahadevan (2009) présentent un contrat de réservation de capacité qui est peu différent de ceux de Serel (2007). Cette fois-ci la capacité est réservée parmi plusieurs fournisseurs. La séquence des événements est donnée (Hazra & Mahadevan, 2009):

- Première étape :

L'acheteur présélectionne un groupe de fournisseur et leur communique ses besoins. Les fournisseurs annoncent alors leur prix comme lors d'une enchère. Les meilleurs prix proposés sont retenus.

- Deuxième étape :

L'acheteur découvre la demande, si elle dépasse la réservation alors l'acheteur s'adresse au *spot market* et les autres fournisseurs peuvent vendre leur capacité.



Hazra et Mahadevan (2009) proposent une répartition de la capacité réservée parmi les fournisseurs sélectionnés. Ils ont testé la robustesse du modèle en fonction du nombre de fournisseurs. Leurs résultats montrent que l'augmentation de leur nombre n'est pas forcément un gage de meilleures performances.

Finalement, De Kok (2000) propose de combiner réservation et report d'approvisionnement ou d'avoir recours au *spot market*. Il prend pour exemple une activité de conditionnement de produit. Il nous dit que si la capacité d'emballage est dépassée alors il est possible de reporter à plus tard le travail à faire ou bien d'externaliser le travail. Le report de travail implique que la capacité doit être étendue pour la période suivante, ce qui peut être fait grâce à du recrutement (de Kok, 2000). Il discute des cas où l'une ou l'autre solution est la meilleure.

#### 8. Réservation de capacité et information asymétrique sur la demande

Avec ce type de contrat, les acheteurs/clients ne communiquent pas toutes les informations sur la demande. Par exemple dans le cas d'un revendeur qui veut pénétrer un marché, mais ne veut pas divulguer toutes les informations sur ses coûts internes à son nouveau fournisseur (Corbett & Tang, 1999). Cette approche présente les avantages de contracter des commandes en fournissant toutes ou partie des informations (Corbett & Tang, 1999). Lv et al. (2015) ont étudié un problème similaire avec le cas d'un assembleur. Trois contrats de réservation de capacité sont décrits (Lv, Ma, & Guan, 2015): *Price-quantity contract* : Les fournisseurs dévoilent leur tarif pour un chaque niveau de réservation de capacité donnée. Ensuite, l'assembleur fait son choix de niveau de réservation; *Price-only contract* : L'assembleur décide en premier lieu du prix de la réservation à l'unité de deux fournisseurs. Ensuite, chacun des fournisseurs décide de la capacité optimale correspondante; *Hybrid contract* : Un seul fournisseur établit en premier un tarif pour un niveau de réservation de capacité. Ensuite, l'assembleur choisit le niveau de réservation et détermine le prix unitaire de réservation de capacité des autres fournisseurs.

Lv et al. (2015) affirment que les résultats étaient les meilleurs pour l'assembleur avec les cas de *price-only contract* et *hybrid contract*. Le fournisseur de premier plan, celui qui intervient dans le *hybrid contract*, obtient les meilleurs résultats avec ce type de contrat. Les autres fournisseurs obtiennent les mêmes résultats, quel que soit le type de contrat (Lv et al., 2015).



## 2.4 Pratiques de priorisation des commandes et d'ordonnancement

Un autre aspect de la recherche qu'il convient d'analyser repose sur la gestion des priorités des commandes, les pratiques d'ordonnancement et la gestion des opérations. En effet, les contrats que nous avons passés en revue portent sur la nature de la demande et le processus de prise de commande, mais il est aussi nécessaire de comprendre comment sont lancées les opérations et suivant quelles règles, dans la mesure où c'est ce type de règles et processus de décision qui sont mis en œuvre pour respecter les engagements des contrats. Pour cela, on propose d'analyser la littérature traitant du sujet.

Tout d'abord les règles d'ordonnancement, notamment usitées dans la production de composants électroniques (Dabbas, 1999):

- *Shortest Processing Time* (SPT) :

Optimise les temps de cycles et donc le *leadtime*. Comme son nom l'indique, la priorité maximale est donnée à la commande qui possède la plus courte durée opératoire.

- Ratio critique (*Critical ratio* (CR)) :

Permet de livrer à temps, car il se base sur la position de la commande dans la séquence d'opération, la date de livraison et la durée de traitement restant. La valeur de 1 étant la limite entre l'état de retard et d'avance sur la date de livraison. Le ratio critique est le rapport entre le temps restant avant la date due et le temps restant en termes de durée opératoires (réglages et processus) (Berry & Rao, 1975).

- *Flow control* (FC) et Fewest Lots at the Next Queue (FLNQ) :

Permettent de prioriser les lots selon un équilibre sur la charge de travail des postes opératoires. La règle FLNQ se base uniquement sur le nombre de lots dans les files d'attente alors que la règle FC prend aussi en compte le temps de production restant pour chaque machine de la séquence d'opération de la commande.

- *Line Balance* (LB) :

LB pour objectif de minimiser la variation de l'indicateur *work-in-progress* (WIP). Lorsque les produits d'un même type voient leur WIP dépasser le niveau requis, ces produits gagnent en niveau de priorité.



D'autres règles sont aussi très utilisées (Rajendran & Holthaus, 1999) :

- *First In First Out* (FIFO) :

FIFO est la plus connue et la plus usitée, c'est une règle efficace pour minimiser le temps passé au sein du système de production, et par ailleurs très simple à mettre en application. Elle sert de référence pour évaluer la plupart des autres règles.

- *Arrival Time* (AT) :

La commande qui possède la date d'arrivée la plus ancienne est prioritaire.

- *Earliest-Due-Date* (EDD) :

Priorité donnée aux commandes dont la date de livraison est la plus proche. C'est une règle simple à implémenter et efficace pour le cas d'une machine unique.

- *Slack per remaining operation* (S/OPN) :

La commande avec le minimum de marge temporelle est priorisée. Cette règle est souvent utilisée comme référence pour évaluer les règles basées sur la mesure du retard.

- *Cost over time* (COVERT) :

Cette règle se base sur l'évaluation du travail restant et sur la marge temporelle. La commande nécessitant le plus de travail supplémentaire est priorisée.

Encore une autre règle de priorisation intéressante (Rose, 2003):

- *Operation Due Date* (ODD) :

Avec cette règle, la date considérée n'est plus la date de livraison, mais la date de libération pour chaque opération. Ainsi, pour l'opération finale la date de libération et la date de livraison concordent.

Liu et Hsu (2015) présentent une autre règle :

- *Shortest Remaining Processing Time* (SRT):

La priorité est alors donnée à la commande dont la durée de traitement est la plus courte. La valeur SRT s'actualise après chaque opération (Liu & Hsu, 2015).



Enfin d'autres règles, présentées comme étant les plus efficaces (Ingimundardottir & Runarsson, 2011) :

- *Most et Least Remaining Work* (MWKR et LWKR) :

À rapprocher de la règle SRT.

- *Longest Processing Time* (LPT) :

Priorité donnée aux commandes dont la durée de traitement est la plus longue par opposition à la règle SPT.

- *Random selection* (RND) :

Sélection aléatoire d'une commande dans la file d'attente.

- *Minimum Slack Time* (MST) :

Les commandes dont la marge temporelle est la plus petite sont priorisées.

## 2.5 Analyse critique des articles

L'analyse critique des articles vise à confronter les caractéristiques des pratiques majeures de collaboration et de réservation, que nous avons passées en revue, avec notre cas d'étude.

En effet, la demande d'un MTS est essentiellement faite de produits semi-finis provenant d'un sous-traitant. Comme nous l'avons dit dans la section 1, le sous-traitant est lui-même l'intermédiaire d'un grand donneur d'ordre dont l'activité principale est l'assemblage des pièces sous-traitées et la vente du produit assemblé auprès des clients, c'est-à-dire les compagnies aériennes pour les avions de ligne moyens et long-courriers, les grandes entreprises pour l'aviation d'affaires ou encore les organismes de défense pour l'aviation militaire. Voici des exemples de pièces généralement traitées par les MTS : porte de fuselage ; encadrement fenêtre pilote ; virole carter ; longerons ; bec d'entrée de turboréacteurs ; et une multitude de pièces de très petite taille (vis, cache, etc.)

Ainsi, un MTS doit traiter majoritairement des pièces monobloc entièrement ou partiellement usinées, qui ne requièrent de sa part aucun assemblage et quasiment aucun ajout de matière. Aussi, les clients des MTS veulent entretenir une compétition entre les MTS afin de tirer les prix vers le bas. Introduire une nouvelle approche collaborative basée sur une régularité dans la prise de



commande et une certaine fidélité est un changement de paradigme. Comme on l'a vu dans la littérature et dans le tableau de synthèse 2.3, aucun article ne traite d'un tel cas spécifique. Il s'agit le plus souvent de problématiques liées à la grande distribution, la vente au détail, l'énergie, le prêt-à-porter, des secteurs très différents de notre cas. Et lorsque les articles traitent du cas d'une CL manufacturière, il ne s'agit même pas du secteur aéronautique, avec une très faible diversité de produit et se limite souvent au cas de l'industrie des hautes technologiques et de l'électronique. Mais le fait que ces articles ne traitent pas directement de notre sujet en particulier ne saurait être une raison suffisante pour faire des contrats proposés des pratiques inadaptées. Analysons plus en détail l'inadaptabilité de ces contrats pour la collaboration industrielle dans notre cas d'étude.

Tout d'abord, les pratiques collaboratives détaillées dans la section 2.2. Comme on l'a observé, les méthodes VMI et CRP sont très performantes pour gérer les stocks du client de manière optimale et parer à l'effet coup de fouet comme le montre l'exemple de Campbell Soup décrit par Lee et al. (2000), Clark (1994) et Fisher (1997). Mais dans notre cas, les stocks du client dépendent essentiellement des pratiques établies entre le client du MTS et ses fournisseurs. En fait, on se rend compte qu'un MTS ne fournit pas ses clients en matériel ou en éléments physiques, mais bien en durées de traitement et de disponibilité de sa main-d'œuvre. C'est la raison principale pour laquelle les pratiques de collaboration et de réservation de capacité analysées ne sont clairement pas applicables telles quelles. L'approche de synchronisation des livraisons par le fournisseur de Cetinkaya et al. (2000) est intéressante, mais là encore inadaptée, car le flux de matière doit être opéré par le client. Aussi, Cassivi (2003) confirme les lacunes de ces approches VMI et CRP en matière de planification sur le long terme. Il nous dit que ces méthodes ne sont faites que pour réagir à l'actualisation des informations données par le client. Rappelons (section 1.1.3) dans notre cas que la réaction dans l'urgence est l'un des problèmes majeurs des MTS, et que l'on cherche à réduire ce caractère urgent de la réponse à la demande.

De même, pour les pratiques QR et ECR : la stratégie QR est spécifiquement développée pour les ventes saisonnières et ne semble pas adaptée à une demande incertaine en continu, il s'agit là encore d'une stratégie pour répondre à l'urgence. On voit bien aussi que les piliers de l'ECR énoncés par Svensson (2002) ne permettent pas d'engagement concret sur les commandes, mais portent plutôt sur les comportements et les stratégies.



Pour ce qui est du CPFR, les processus de prévisions et de coordination décrits par Diaz et al. (2012) et VICS semblent très intéressants pour le cas des MTS. Ils proposent une démarche structurée et rigoureuse permettant une actualisation d'un plan permettant d'anticiper toute tendance de la demande. Les caractéristiques du CPFR peuvent servir de base à notre proposition en termes de collaboration. Une entente qui couvre une période définie permet de donner plus de certitudes pour le vendeur, la relation est plus durable et moins incertaine. Aussi, les contrats issus du CPFR sont conçus pour la production de masse sans réelle considération des limites de production. Ainsi, l'approche CPFR ne se base pas sur une planification de l'utilisation des ressources et de la capacité de production.

En ce qui concerne les contrats de réservation de capacité, les contrats par options ou basés sur la notion de QF de Tsay (1999) sont intéressants dans le cadre d'un MTS. Les options donnent de la flexibilité au client et assurent aux manufacturiers des garanties au niveau de l'utilisation de leur ressource. Mais dans le cas d'un MTS, ce ne sont toujours pas des volumes de produit qu'il faudra négocier, mais des volumes horaires de service. Cependant, un des problèmes avec ce type de contrat, c'est que le coût du service peut être grandement impacté par l'élévation de la tarification de l'exercice des options. C'est un aspect qui pourrait avoir un impact sur la fidélité des clients envers leur MTS : si les clients sont contraints d'exercer une option coûteuse, ils auront tendance à s'adresser à un autre MTS. Or on cherche justement à favoriser la fidélité entre client et MTS. Même remarques pour la méthode *backup agreement* de Iyer et Eppen (1997) et DR de Jin et al. (2005).

Les stratégies *buy-back* de Mantrala et al. (1999) et *revenue sharing* sont très adaptées au secteur de la grande distribution ou du prêt-à-porter en raison des phénomènes de saisonnalités. Mais les produits qui reviennent chez le fournisseur peuvent être revendus sur d'autres marchés à d'autres moments ou soldés. En revanche, il est impossible de réutiliser de la main-d'œuvre mobilisée et restée inactive : on peut stocker des vêtements, on ne stocke pas des volumes horaires de service.

Pour la méthode *take-or-pay*, les articles de Creti et al. (2003), Johnston et al. (2008), Namikawa (2002) et Glachant et Hallack (2008) traitent tous du secteur de l'énergie international sur le très long terme. Cette méthode n'est pas économiquement viable pour un client d'un MTS. En effet, un tel contrat l'obligerait à payer les services du MTS quoiqu'il arrive au cours d'une longue période, c'est une approche trop rigide. Avec la variante du *take-or-pay* adaptée au secteur manufacturier,



la stratégie *pay-to-delay* de Lee et al. (1997), les clients du MTS verraient leurs commandes trop retardées. Et comme avec la stratégie *buy-back*, il n'est pas possible de reporter des heures de service à plus tard sans avoir recours à des heures supplémentaires coûteuses.

Les contrats proposés par Lv et al. (2015) sont adaptés au cas d'un CL logistique centralisée et interviennent au niveau d'un assembleur et d'un sous-traitant de premier niveau. Notre cas de MTS est différent : la CL est décentralisée, et le manufacturier interagit avec des clients qui ne sont pas toujours fidèles, dont la demande est variable en termes de produits et de spécifications, contrairement à la relation assembleur/fournisseur.

Finalement, on se rend compte que la plupart des contrats sont appliqués dans le cadre d'une CL bien souvent intégrée, coordonnée et centralisée. Or, Taghipour et Frayret (2013) rappellent les caractéristiques d'une CL décentralisée : flux d'information unidirectionnel, forme de hiérarchie faible et planification indépendante des opérations (Taghipour & Frayret, 2013). C'est exactement le cas dans lequel se trouvent les MTS aujourd'hui.

Un autre point de l'analyse critique des articles est la question de leur point de vue. Ce que l'on recherche à travers un contrat par réservation de capacité, c'est une situation d'équilibre de Nash, comme le rappellent Cachon et al. (2002). Un équilibre où le manufacturier et le client sont satisfaits. Or on constate après la lecture approfondie des articles que les points de vue adoptés semblent favoriser majoritairement le cas de l'acheteur, revendeur, assembleur ou client ou alors ils restent très généraux comme beaucoup d'articles traitants des méthodes basées sur le VMI. Le manufacturier ne jouant jamais l'un de ces rôles, la littérature délaisse souvent son point de vue. En témoignent les deux questions qui reviennent souvent dans les articles et en particulier dans celui de Hazra et al. (2002) :

- Quelle capacité doit réserver le client ?
- Combien de fournisseurs doivent assurer la réservation de cette capacité ?

Ces deux questions montrent bien à quel point la plupart des articles traitant de réservation de capacité se soucient essentiellement du cas de l'acheteur/client. Voyons d'un peu plus près certains points de vue adoptés. Les tableaux 2.4 et 2.5 représentent bien le fait que la littérature se concentre essentiellement sur le point de vue des acheteurs ou clients et ils montrent aussi que le secteur manufacturier n'est pas le secteur le plus concerné par les pratiques de collaboration et de réservation. Le commerce au détail et la grande distribution sont les secteurs qui ont le plus



contribué au développement de ces pratiques. De fait, leur applicabilité dans le secteur du traitement de surface reste très limitée.

Yao et Dresner (2008) affirment que les bénéfices des approches VMI et CRP ne sont pas toujours répartis équitablement entre fournisseur et client en raison notamment des informations passées et capitalisées qui ne sont pas transmises au fournisseur. Ainsi, le client voit ses stocks optimisés contrairement aux possibilités d'adaptation à la demande du fournisseur. Quant aux pratiques se basant sur la dualité de l'approvisionnement (réservation de capacité et *spot market*) tels que ceux décrits dans les articles de Hazra et Mahadevan (2007), Serel (2005) ou encore De Kok (1999), ils ne font que reprendre finalement les autres formes de contrat de réservation de capacité et se concentrent sur les solutions possibles pour assurer à l'acheteur son approvisionnement. Si parfois les études montrent que la stratégie est aussi bénéfique pour le manufacturier, ses intérêts ne sont clairement pas au centre de la discussion. De même, pour les pratiques basées sur une asymétrie de l'information sur la demande, les articles de Lv et al. (2015) et Corbett et al. (2004) montrent à quel point ces pratiques favorisent le point de vue du client/acheteur dont le souci premier est de ne pas révéler beaucoup d'information. Les lacunes principales de la littérature sont présentées dans le tableau 2.3.

Enfin, les règles basées sur la mesure du retard, telles que CR ou S/OPN semblent être pertinentes dans le cas d'un MTS parce qu'elles ne se basent pas uniquement sur la date d'arrivée comme AT ou leur date de livraison comme EDD. En effet, ces deux dates ne peuvent dans notre cas servir de repère pertinent pour l'ordonnancement tellement les durées de traitement sont variables d'une commande à une autre. Ainsi, deux commandes ayant la même date d'arrivée ou même date de livraison n'ont pas forcément le même caractère urgent en raison d'une grande différence dans leur séquence d'opérations. La règle CR semble être une des plus précises mais aussi une des plus complexes à mettre en place en raison de la multitude des informations requises à en croire les formules de Berry et Rao (1986). La règle FIFO est déjà utilisée bien sûr chez les MTS et lorsque les clients appellent pour faire traiter leurs commandes en priorité on parle alors de FIFO priorisé. La règle RND évoquée par Ingimundardottir et Runarsson (2011) semble totalement inopportune tant elle pourrait apporter des résultats aberrants dans le cas des MTS.







Tableau 2.3: Classification des textes sur les pratiques collaboratives

Type	Auteurs	Secteur						Point de vue	
		Catégories	Distribution / Revente	Prêt-à-porter	Énergie Transport	High-tech / Électronique	Manufacturier Général	Client	Client et fournisseur
VMI + CRP	Disney et al. (2003)						◆	-	-
	Clark (1994)		◆					◆	
	Fisher (1997)		◆					◆	
	Cachon et al. (1997)						◆	-	-
	Yao et al. (2005)						◆	-	-
	Lee et al. (2000)						◆		◆
	Waller et al. (1999)					◆		◆	
	Li et al. (2012)		◆						◆
	Cetinkaya et al. (2000)		◆						◆
QR + ECR + CPFR	Iyer et al. (1997)		◆					◆	
	Suri (1998)						◆		◆
	Svensson (2002)						◆	-	-
	Tuominen (2004)						◆	-	-
	Diaz et al. (2012)						◆	-	-
	Cassivi (2003)						◆	-	-
	Poler et al. (2008)						◆	-	-
	Sherman (1998)						◆	-	-
	Sparks et al. (2003)		◆						◆







## 2.6 Conclusion

L'analyse de la littérature a permis de mettre en lumière les lacunes des pratiques collaboratives et des contrats de réservation de capacité existants. On se rend compte, par la lecture approfondie des articles, que les études sont trop générales ou traitent bien souvent de cas qui sont très différents du cas des MTS, notamment au niveau de la demande et de la nature du service apporté et des opérations de traitement de surface. Comme on l'a vu, les pratiques collaboratives et de réservation de capacité sont initialement destinées à la grande distribution puisque ce sont les grands noms du secteur qui les ont développées et parfois théorisées. On retiendra aussi bien sûr que les produits échangés entre les parties prenantes de ces pratiques sont très différents dans le cas des MTS. Les distributeurs s'entendent avec leur fournisseur sur des volumes de commandes alors que les clients des MTS devraient collaborer sur le nombre d'heures de service puisque les MTS ne transforment pas de la matière première pour fournir en produits leurs clients. De ce point de vue, la littérature est totalement inexistante. Aussi, la plupart des contrats présentent des notions permettant de gérer l'incertitude lorsque les clients découvrent leur demande. Or la demande auprès des clients des MTS n'est pas si incertaine, il n'y a pas de raison qu'il y ait de l'incertitude dans les commandes auprès des MTS.

Autre point soulevé dans cette revue de littérature, les points de vue adoptés. On a bien vu que les points de vue se basent surtout sur les problèmes d'approvisionnement rencontrés par les clients en contact avec les consommateurs finaux. Parfois, les articles apportent des conclusions exploitables par les clients comme les fournisseurs, mais aucun article ne présente analytiquement le problème perçu par les intervenants comme les MTS, qui ont une position très particulière au sein de la CL. Cette position qui les rend à la fois vulnérables, mais aussi capables d'améliorer les performances de la CL tout entière.

Ainsi, les contrats de réservation de capacité analysés ne semblent pas en mesure de répondre aux problématiques soulevées en section 1. En revanche, ils comportent d'intéressantes notions qu'il serait bénéfique d'implémenter dans une nouvelle vision qui répondrait à la fois aux besoins d'anticipation des MTS et aux désirs de garantie de service de leurs clients propres à ce secteur très spécifique et stratégique.



## CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

### 3.1 Introduction

En sachant que l'on cherche à porter un regard critique sur notre approche de réservation de la capacité de la production pour les MTS au Québec, il est nécessaire de préciser que l'objectif est de tester l'approche en confrontant ses performances avec l'approche actuelle. Cette confrontation se fait dans un cadre commun aux deux approches qui met en jeu les comportements observés dans le secteur. La définition de ces comportements se fait sur la base de choix de modélisation raisonnables qui ne sont en aucun cas issus d'une analyse précise des données d'un MTS en particulier. Cette section vise à détailler cette démarche. En premier lieu, des questions sont posées pour mener l'étude. Ensuite sera détaillée la méthodologie suivie pour avoir une idée claire et synthétique de la démarche employée. Cette démarche vise à conclure sur la validité des hypothèses de départ et d'atteindre les objectifs énoncés.

### 3.2 Description des questions de recherche

En constatant les lacunes identifiées dans la section précédente, on peut énoncer la question de recherche générale suivante :

*Quelle est la faisabilité d'un processus de gestion des commandes des MTS du secteur aéronautique au Québec basé sur une approche de réservation de la capacité de production ?*

Répondre à cette question requiert de se poser plusieurs sous-questions correspondant aux sous objectifs de notre recherche :

1. *Comment peut-on définir et quantifier la capacité de production ?*
2. *Quelles performances obtient-on en confrontant notre approche à différentes variabilités de la demande ?*
3. *Quelles performances obtient-on en généralisant notre approche au sein de la clientèle*

Aucun MTS du secteur aéronautique n'a établi de contrat basé sur la réservation de sa capacité de la production. Des tentatives de collaboration ont bien été initiées comme du partage d'information,



mais elles n'ont jamais fait intervenir des prises de commandes ou du moins des sollicitations fermes et concrètes de la charge de travail à l'avance. Il n'a jamais été présenté de recherche partant du point de vue d'un acteur en bout de la CL comme en témoigne les tableaux 2.3 et 2.4. Notre proposition basée sur une réservation de la capacité de production du MTS pourrait être bénéfique à la fois aux MTS et à leur clientèle malgré le fait que nous partons des problèmes rencontrés par les MTS pour construire notre processus amélioré de traitement des commandes. L'atteinte des objectifs de recherche décrits doit permettre d'évaluer quantitativement les avantages et les limites de la solution proposée.

### **3.3 Description de la méthodologie**

Afin de répondre aux questions de recherche soulevées, nous proposons le recours à la simulation. En effet, les objectifs de recherche impliquent d'identifier des indicateurs de performances et des variables pour les analyses de sensibilité. Ainsi, il est nécessaire d'aboutir à des discussions basées sur des valeurs numériques. La simulation est donc a priori adaptée à notre étude. Il s'agit de procéder à une simulation avec laquelle on pourrait éprouver le nouveau processus et traiter les commandes sans que cela ait d'impact sur la relation clientèle et sur la qualité du service du MTS qui prendrait part à l'expérience. Cette stratégie permet de tester plusieurs scénarios et plusieurs configurations. Il s'agit en définitive de tester un nombre restreint de configurations de notre approche, sans chercher à optimiser de façon répétitive un problème de planification. Et tout cela dans un intervalle de temps qui sied à une recherche dans le cadre d'une maîtrise. Si la plupart des textes analysés dans la revue de la littérature présentent des méthodes analytiques et numériques, le recours à la simulation est récurrent. En effet, la simulation est souvent utilisée pour évaluer les performances et les aptitudes d'une nouvelle approche, notamment dans le secteur manufacturier. Ainsi, Law et McComas (1987), dans un article étudiant les caractéristiques de la simulation des systèmes manufacturiers, affirment que les méthodes de simulation peuvent apporter des bénéfices au niveau des cadences de production, des niveaux de stock, de l'utilisation des machines et des ressources humaines, des livraisons à temps et de l'optimisation des investissements en général. La simulation repose sur la reproduction d'un fonctionnement, mécanisme ou phénomène observé dans un environnement défini et sous contrôle. Elle se distingue de l'émulation par le fait que l'on cherche non seulement à reproduire le comportement externe observable de l'environnement, mais aussi les mécanismes internes de cet environnement. La simulation est un outil d'aide à la décision



qui nous permet d'évaluer les performances d'une organisation différente de l'existante et de conclure sur ses capacités à répondre au problème observé. L'enjeu dans une approche par simulation est de reproduire ce comportement aussi fidèlement que nécessaire, et à moindre coût. Les comportements des systèmes réels sont généralement dynamiques et complexes, ce qui est le cas pour les MTS dont la demande est très variable et incertaine. Or, la simulation est très adaptée pour étudier les systèmes qui évoluent dans le temps. Aussi, la construction de la solution potentielle ne se fait pas à travers la simulation, elle peut être proposée de manière systématique en utilisant une étude analytique et des algorithmes mathématiques. C'est le cas si le système est suffisamment simple, on peut alors modéliser le problème de façon analytique. Dans notre cas, la solution proposée provient plutôt d'une analyse qualitative des problèmes observés. Ainsi, la simulation va impliquer deux éléments :

- Un système à évaluer : système de production d'un MTS
- Un environnement : la clientèle du MTS

En premier lieu, il convient de définir un modèle conceptuel qui permet de décrire le système productif d'un MTS et ses interactions avec son environnement. Ce modèle conceptuel permet de construire le cadre de la simulation.

Une fois que le modèle conceptuel a été défini, il est nécessaire d'attribuer des valeurs réelles à tous les paramètres décrits. La démarche habituelle consiste à procéder à une collecte de données industrielles, idéalement auprès de plusieurs acteurs du secteur considéré au Québec, ou auprès d'un acteur représentatif. Notre partenaire industriel s'étant refusé à transmettre la majorité des données nécessaires, nous avons complété la base de données de différentes manières : nous avons eu recours à des données issues d'un stage réalisé au sein d'un autre MTS dont la taille, les produits, les processus et les problèmes étaient similaires, voire identiques à notre partenaire. Pour les données restant manquantes, nous n'avons pas eu d'autre choix que de construire des hypothèses réalistes et acceptables. Ces hypothèses ont été par la suite validées par experts ayant une grande connaissance du secteur et de ses problèmes. Ces données portent sur : les intrants et les extrants du système productif des MTS, en particulier la demande en termes de part des familles de produit dans le flux total ; les durées des processus des MTS ; les caractéristiques des ressources utilisées par les MTS ; et la variabilité et la distribution mathématique des caractéristiques des éléments énoncés ci-dessus. Ces données doivent par la suite être implémentées dans le modèle conceptuel.



La troisième étape consiste à valider la modélisation effectuée. Il faut tout d'abord valider le modèle conceptuel et les processus modélisés. Pour représenter les processus d'affaires, nous avons choisi d'utiliser le formalisme ANSI, car c'est un formalisme simple à utiliser et à comprendre. Cette cartographie de processus est ensuite soumise à l'expertise d'un MTS pour validation. Il faut aussi obtenir une validation numérique du modèle. Pour cela, il faut suivre la démarche de Pritsker (1986) qui consiste à implémenter un modèle conceptuel, et de le transcrire dans un langage de programmation afin d'obtenir des données sortantes et de confirmer la validité du modèle. Cette étape de validation peut requérir une phase de calibration comme indiqué dans la figure 3.1 :

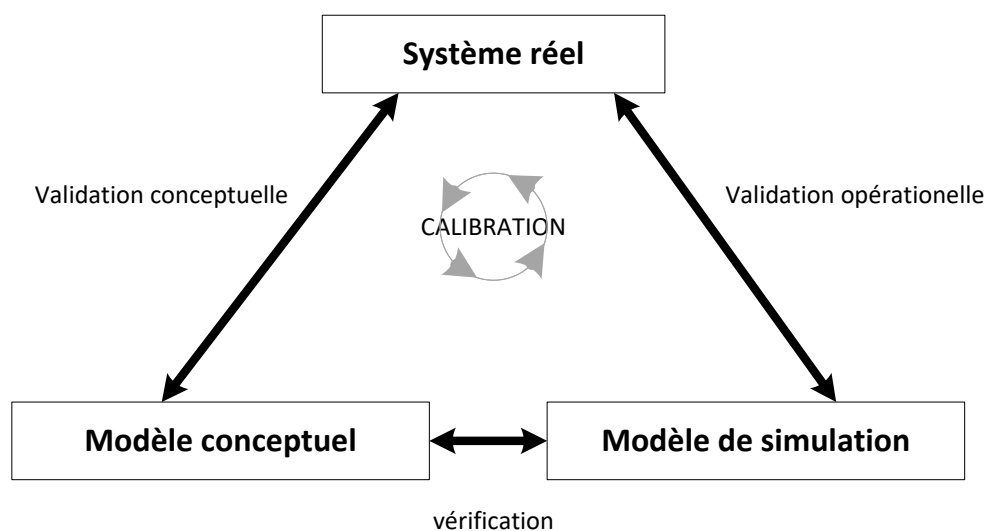


Figure 3.1: Cycle de validation en simulation d'après Ulgen et al. (2006)

On doit s'assurer que les résultats qui sortent de la simulation corroborent les propos des experts consultés pour la validation.

Ensuite, les expériences doivent être planifiées. Ces expériences doivent permettre d'atteindre les objectifs et de confirmer les hypothèses de départ. On cherche tout d'abord à prouver qu'une amélioration est possible dans le traitement des commandes des MTS. On va donc apporter des modifications au modèle décrit auparavant pour qu'il corresponde à la solution proposée. L'ensemble des scénarios envisagés à travers lesquels on va faire varier certains paramètres représente le plan d'expérience. L'expérimentation correspond à la simulation de tous les scénarios du plan d'expérience. L'étape finale de notre méthodologie est l'analyse des résultats des



différentes simulations. Cette analyse nous permettra de conclure quant aux objectifs et hypothèses énoncés.

Pour ce qui est des techniques principales de simulation, elles sont au nombre de quatre : la simulation Monte-Carlo (Statique, stochastique/probabiliste); la simulation à événements discrets (Dynamique, stochastique/probabiliste); la dynamique des systèmes; et la simulation à base d'agents.

Pour la simulation Monte-Carlo, le temps ne joue pas de rôle, c'est pourquoi on parle de modèle statique de simulation avec cette option. La dynamique des systèmes quant à elle se concentre plus sur la compréhension de phénomènes ou systèmes complexes. La simulation à base d'agents ne peut se faire que si l'on possède assez d'information sur les interactions et les caractéristiques des agents qui interviennent dans le système étudié, ce qui n'est pas notre cas. La simulation à événements discrets semble être la mieux adaptée à notre cas. En effet, ce type de simulation est la plus commune pour analyser et comprendre les phénomènes dans les systèmes manufacturiers dynamiques d'après Negahban et Smith (2014) d'autant plus que les progrès en technologie de l'information ont permis de rendre les outils de simulation à événements discrets très performants. Pour Miclo et al. (2015), la simulation à événements discrets permet d'ajouter une dimension dynamique à la simulation et de gérer facilement la variabilité des intrants.

### **3.4 Conclusion**

Il s'agit pour notre étude d'analyser la faisabilité d'une approche de réservation de capacité de production. Cela revient à analyser quantitativement des aspects de notre proposition comme la capacité de production et les performances du manufacturier face à un comportement variable de la demande et de la clientèle. La simulation est un outil pertinent pour mener à bien cette analyse quantitative, et on a vu que la simulation à événements discrets est particulièrement adaptée à notre cas. L'évaluation quantitative de notre démarche est avant tout une analyse comparative qui confronte une situation actuelle à notre proposition. Ainsi, dans le prochain chapitre, nous développerons le modèle du processus actuel que nous chercherons à améliorer dans le but d'atteindre les objectifs de recherche énoncés.



## **CHAPITRE 4    MODÈLE DE LA SITUATION ACTUELLE**

### **4.1 Introduction**

Dans cette section, nous décrivons et analysons le processus de traitement des commandes qui est appliqué actuellement dans une entreprise d'un MTS dont le profil est représentatif d'une population de PME spécialisée dans le traitement de surface dans le secteur aéronautique canadien. Le processus en question que nous appellerons AS-IS se concentre sur les étapes principales du traitement des commandes. L'enjeu pour cette section est aussi d'identifier les problématiques et leurs causes après avoir posé un regard critique sur la description du processus de traitement des commandes AS-IS. Ce processus servira de modèle de référence pour établir un nouveau processus qui sera étudié dans le chapitre 5.

### **4.2 Processus actuel (AS-IS)**

La description du processus actuel AS-IS repose sur une analyse d'un cas réel, mais aussi sur des choix de modélisation. Dans cette description ne sont pas étudiées les étapes éventuelles qui nécessitent l'intervention du bureau des méthodes et les ateliers de peinture, de ressuage ou de conditionnement avant expédition. Le processus analysé ne fera apparaître que les opérations de masquage et de bain qui peuvent constituer des goulots d'étranglement. Ces opérations ont été identifiées comme étant des goulots par observation et par témoignage d'une expertise. Nous passons donc en revue chacune des étapes qui constituent notre modèle. Il s'agit du passage des commandes, de la réception des commandes, de leur traitement et enfin de leur suivi. Dans notre modèle, le traitement des commandes comprend les opérations de masquage, démasquage et bain.

#### **4.2.1 Analyse du cas d'étude réel**

##### **4.2.1.1 Observation et cartographie de processus d'affaires**

Cette section porte sur la manière dont les clients des MTS passent commande à leur prestataire de service en traitement de surface. Pour ce qui est du processus de prise de commande, les étapes de réception des commandes, d'ordonnancement et de préparation des documents de production sont décrites en ANNEXE A. L'analyse des cartographies de processus nous permet d'identifier les informations transmises au MTS par le client lors de la prise de commande qui s'effectue en



pratique par la réception d'un colis : numéro de commande ; numéro de pièce / Numéro de séquence / Identité du client ; nombre de pièces.

L'inspection du colis donne des informations aussi sur : le volume des pièces; la date de la réception, qui détermine la date d'arrivée de la commande chez le MTS; la forme des pièces, on compte jusqu'à quatre niveaux de complexité de la forme. La complexité est relative aux nombres d'heures requises pour le masquage/démasquage.

Lorsque les colis sont livrés au MTS, les commandes possèdent toutes la même priorité. Cependant, comme on le voit en ANNEXE A, les services de planification du MTS sont parfois amenés à procéder à une nouvelle planification des commandes. Les agents modifient donc l'ordonnancement de la production. En effet, certains clients expriment le désir de voir leurs pièces libérées plus tôt que prévu. Ces clients appellent les services du MTS et demandent à revoir la priorité de leurs commandes. Les commandes de ces clients se voient alors attribuer des niveaux de priorité supérieurs.

Le modèle que nous avons décrit se base en partie sur la cartographie du processus que l'on retrouve en ANNEXE A. Cette cartographie a été construite à partir d'un cas réel de MTS et a été validée suivant deux étapes de validation :

- Première phase de validation :

Il s'agit d'une validation grossière réalisée par l'équipe chargée de la collecte de données, le responsable du service informatique, par le responsable du suivi de projet et par la direction technique. Les opérateurs ou agents des différents services ne sont pas intervenus dans cette première phase pour des raisons de calendrier et de charge de travail trop importante. Ainsi, afin de ne pas réduire encore plus la capacité de travail, il a été décidé de faire intervenir les opérateurs et agents lors de la deuxième phase de validation. Des corrections sont apportées à la suite de cette première phase.

- Deuxième phase de validation :

Il s'agit d'une validation plus précise réalisée cette fois-ci service par service avec les acteurs de premier plan dans le traitement des commandes. On procède à une analyse détaillée de la cartographie de chaque processus. Une attention toute particulière est apportée aux processus et étapes qui semblaient peu clairs au premier abord. Des corrections sont apportées encore une fois



lorsque des erreurs sont détectées. Il y a donc une nouvelle validation ensuite, mais sans modification nouvelle à apporter.

Le modèle se base aussi sur l'analyse des données portant sur le regroupement représentatif des produits en famille de produit ainsi que la part de chacune de ces familles dans le flux total. Cette analyse a aussi été validée par une direction technique d'un MTS représentatif du secteur.

#### **4.2.1.2 Problématiques**

Le processus actuel présente certains problèmes pour le manufacturier aussi bien que pour la clientèle. Ces problèmes portent sur la gestion interne des commandes, mais aussi sur les relations commerciales qu'entretiennent les MTS et leur clientèle.

Tout d'abord, il paraît surprenant que les clients n'annoncent pas leur commande à l'avance alors qu'ils possèdent des informations sur la demande de leur propre client bien souvent de grands donneurs d'ordre. Comme on l'a dit en section 1.1.2, cela amène la clientèle à imposer au MTS des dates de livraison très agressive. Bien souvent, les clients passent commande à leur MTS habituel, c'est-à-dire qu'il existe une forme de fidélité en pratique puisque les clients ne changent pas si souvent de MTS. Mais lorsque leur MTS n'est pas en mesure de répondre à leur demande ou pas dans les conditions souhaitées, les clients s'adressent à la concurrence. Ainsi, il n'y a jamais aucun engagement pris alors qu'il existe une stabilité dans la demande en amont. Il apparaît clairement qu'un changement dans la manière de passer commande pourrait apporter plus de fidélité et de confiance dans les relations entre MTS et clients. Un engagement contractuel pourrait traduire une confiance déjà en place et réduire le caractère urgent du traitement des commandes.

Comme on l'a vu dans les processus en ANNEXE A et dans la section 4.2.2, les clients prennent la liberté de contacter leur MTS et de faire pression sur les services de planification et la direction technique pour changer la priorité de leur commande afin d'accélérer la libération de leurs pièces. C'est une des conséquences du fait que les clients passent leurs commandes au dernier moment. En effet, en retardant les passages de commandes, la clientèle réduit sa marge temporelle vis-à-vis de ses propres délais de livraison auxquels elle est tenue par les grands donneurs d'ordres. Plus les commandes sont annoncées à l'avance, mieux on peut anticiper certains aléas comme des pannes, surplus de la demande, etc. Ce n'est pas le cas dans le processus actuel, les changements intempestifs et récurrents traduisent ce manque de planification et d'anticipation. Cela a aussi pour conséquence d'accumuler le stress au sein des équipes de MTS qui doivent constamment satisfaire



les velléités d'une clientèle qui se comporte finalement un peu comme aux enchères : l'agressivité et la réactivité l'emportent là où un engagement contractuel devrait régler les niveaux de priorité des commandes.

Aussi, la planification récurrente implique de la part des agents planificateurs un travail laborieux et répétitif qui n'apporte aucune valeur ajoutée aux produits. En effet, si le MTS possède un système de gestion de la production tel qu'un progiciel ERP ou tout simplement un système informatique développé sur mesure, la planification de la production se fait d'abord automatiquement. Les changements réitérés de niveau de priorité impliquent de refaire complètement le premier plan établi automatiquement. Et ces changements se font généralement au cas par cas, manuellement selon les besoins particuliers des clients.

On s'aperçoit aussi que certaines commandes prioritaires sont traitées avant d'autres commandes qui sont susceptibles d'être plus en retard. En changeant les priorités de leurs commandes, les clients imposent aux MTS de satisfaire leurs attentes, alors que le MTS ralentit le traitement des commandes des autres clients qui ne se sont pas ou moins manifestés. Ainsi, le MTS favorise le traitement des commandes de certains clients sans avoir de leur part aucun engagement ni fidélité assurée. Aussi, le MTS peut être amené à perdre du crédit auprès des autres clients défavorisés. Il semble nécessaire d'établir des règles dans l'attribution des niveaux de priorité.

Les lacunes du processus actuel n'ont pas des impacts seulement sur l'attribution des priorités, il en a aussi sur la gestion des ressources humaines et matérielles. Lorsque la clientèle fait parvenir ses colis chez le MTS, celui-ci découvre les besoins en main-d'œuvre requis par la clientèle. De cette manière, il n'a que peu ou pas de temps pour réagir et s'organiser. En effet, les ressources machines sont limitées et fixes, il n'est pas possible d'envisager une extension du parc machine de manière temporaire. Il est possible de planifier une extension de la capacité basée sur les demandes de la clientèle comme on l'a vu avec la notion de *Deductible Reservation* de Erkoc et al. (2005). Mais il faut passer alors par une entente contractuelle et ce n'est pas le cas dans le processus actuel.

Le même problème se pose pour l'utilisation des ressources humaines quoique celles-ci soient plus flexibles que les ressources machines. Lorsque le changement de priorité intervient, les planificateurs déplacent les commandes prioritaires dans les espaces interstitiels du plan initial, en somme, ils « tassent » le plan déjà existant. Mais ce n'est parfois pas possible, il faut alors avoir recours aux heures supplémentaires qui sont très coûteuses. Le manque d'anticipation dû aux



annonces tardives des clients empêche le MTS de réagir en recrutant du personnel temporairement cette fois-ci. En effet, une telle action requiert de connaître la demande à l'avance pour deux raisons. Premièrement, il faut donner du temps au MTS pour trouver la main-d'œuvre qualifiée. Et deuxième raison, les opérations réalisées par le MTS requièrent des qualifications et parfois des certifications. Il n'est donc pas toujours aisé de trouver de la main-d'œuvre qualifiée, il faut alors envisager le cas d'une formation du personnel. Ainsi, il faut donner une marge temporelle au manufacturier pour qu'il puisse s'organiser ce qui n'est pas possible avec le processus actuel. Comme la fidélité de la clientèle n'est pas contractuelle, l'augmentation de ressources ne peut se concevoir en tant qu'anticipation d'une hausse de la demande : cela est contraire aux intérêts du MTS qui pourrait se retrouver avec de la main-d'œuvre supplémentaire inutilisée, mais tout de même coûteuse.

Les lacunes identifiées dans le processus actuel n'ont pas que des impacts néfastes pour le MTS, mais aussi pour la clientèle. Comme on l'a dit en section 4.2, les changements récurrents de niveaux de priorité pour les clients qui appellent le MTS impliquent que certaines commandes ne voient pas leur niveau de priorité augmenter. Ainsi, si les clients changeant leur niveau de priorité obtiennent des commandes qui respectent les délais de livraison voire des commandes libérées en avance, les autres clients sont susceptibles de voir augmenter le nombre de commandes en retard. En effet, il n'y a aucune anticipation des retards avec le processus actuel, seule la priorité compte ce qui n'est stipulé par aucun contrat. Ainsi, les bonnes performances sont pour les clients qui prennent l'initiative de contacter leur MTS. La gestion des retards est complètement aléatoire et non maîtrisée.

Par ailleurs, comme le MTS est toujours en mode réactif, il peut être amené à refuser des commandes parce qu'il voit son calendrier obstrué par des hausses de la demande inattendues et pour lesquelles il n'est pas en mesure de s'adapter. Cela peut avoir un impact sur la manière dont les clients jugent le MTS dans sa capacité à répondre à la demande et sa fiabilité. Un refus n'est jamais bon pour renforcer ou initier des relations commerciales et MTS n'a pas le choix de décider de quel client il va devoir refuser les commandes. Ainsi, la clientèle n'a pas de bonne visibilité sur la disponibilité du MTS qui n'en a pas lui-même.



## 4.2.2 Choix de modélisation du processus

Dans cette section nous présentons les choix réalisés pour construire notre modèle. Certaines valeurs se basent donc sur des choix justifiés visant à se rapprocher au mieux de la réalité.

### 4.2.2.1 Passage et réception des commandes

Dans notre étude, nous considérons seulement le cas des commandes répétitives, sans manque d'information. Autrement dit, nous ne considérons pas les exceptions ni le cas des rectifications, car elles ne représentent qu'une minorité des cas. Le nombre de pièces et le volume des pièces sont souvent liés. Ainsi on considère quatre types de pièces, dont les volumes et le nombre possible de pièces sont donnés dans le tableau 4.1.

**Tableau 4.1: Nombre de pièces en fonction du volume**

Type de pièce	Nombre de pièces	Volume de pièce (cm <sup>3</sup> )
	<i>Distribution loi normale (<math>\mu;\sigma</math>)</i>	<i>Distribution loi normale (<math>\mu;\sigma</math>)</i>
1	60;20	100;30
2	30;10	1100;300
3	15;5	11000;3000
4	8;2	60000;20000

On comprend aisément que pour une commande impliquant un grand nombre de pièces, le volume de chacune de ces pièces est généralement limité pour des raisons logistiques et de praticité de manutention. Ainsi, les valeurs choisies rendent bien compte de ces différentes gammes de nombre et de volume de pièce. La fiche commande remise au MTS lorsque le colis arrive contient aussi des informations relatives aux délais et dates de livraison requis. Ainsi, le délai est imposé par le client, mais aussi par les capacités de réaction du MTS. Le délai de traitement d'une commande



dépend fortement de la séquence d'opérations à réaliser. Le tableau 4.2 donne les délais requis en fonction des familles de produits, décrites dans le tableau 4.3.

**Tableau 4.2: Délais en fonction des familles de produits**

Familles de produits	1,2 et 3	4,5 et 6	7,8 et 9	10,11 et 12
Délai requis (en jour)	2	2	3	3

On voit ainsi qu'en comparant le tableau 4.2 et le tableau 4.3, certaines familles ont des séquences d'opérations très proches et donc des délais requis identiques. Les délais requis sont de quelques jours à peine, ainsi le caractère urgent des passages de commande se reflète bien ici : les clients passent leur commande au dernier moment et imposent des délais agressifs, les délais requis sont donc très courts.

Aussi, il s'agit de comprendre sur quoi portent les commandes et les opérations impliquées. Évoquons les différentes opérations qu'un MTS est amené à réaliser. Comme nous ne considérons que les opérations de masquage et de bain, décrivons-les plus précisément. Le masquage implique impérativement une opération de démasquage qui consiste à retirer les éléments protecteurs placés sur les pièces lors du masquage. On peut aussi retrouver le terme épargne pour désigner le masquage. Les opérations de bain impliquent quant à elles une étape d'accrochage des pièces du client aux grappes de trempage, une étape de bain et une dernière étape de décrochage des pièces. Il peut y avoir jusqu'à deux opérations de bains et deux opérations de masquage/démasquage. Nous considérons un ensemble de séquences d'opérations qui correspondent à un ensemble de familles de produits. En effet, la diversité des produits traités par un MTS est telle qu'il est possible de les regrouper par famille. Généralement, un client sollicite les services d'un MTS pour un seul type de produit. Nous dirons donc que chacune des familles de produits peut être associée à un seul client. Les commandes d'un MTS peuvent rassembler jusqu'à douze familles de produits et donc de séquences d'opérations. Les caractéristiques des douze familles de produits sont présentées dans le tableau 4.3.



Le dernier point qu'il convient d'aborder pour le passage des commandes est leur fréquence d'arrivée au sein de l'infrastructure du MTS : on considère une distribution aléatoire normale de moyenne 3,1 h et d'écart-type 0,5 h.







#### 4.2.2.2 Traitement et suivi des commandes

Une fois que les commandes sont passées et que les colis sont arrivés au sein de l'établissement du MTS, elles sont prises en charge par le personnel. Comme on le voit dans le processus actuel du cas d'étude décrit en ANNEXE A, les commandes sont d'abord analysées. Après les étapes de la réception, les équipes du bureau des méthodes et des techniques opératoires prennent le relais. Nous considérons là encore qu'il s'agit de simple délai qui en moyenne est le même pour toutes les commandes. Ainsi, nous excluons ces étapes de notre modèle, car elles n'ont pas non plus d'apports sur les conclusions. Le modèle se concentre sur la gestion des opérations de masquage/démasquage et des bains. Dans notre modèle, nous considérons que les durées énoncées dans les paragraphes suivants peuvent être connues ou déduites des informations transmises par le client au MTS à travers la fiche commande ou tout autre moyen de communication.

La première opération pour les familles de produits 4,5,6,10,11 et 12 est une opération de masquage. On considère qu'il est possible d'estimer la durée de masquage/démasquage à partir du niveau de complexité de la forme et du nombre de pièces constituant la commande. Ci-après l'expression (1) qui donne la durée de masquage pour une commande donnée dans notre modèle :

$$t_{\text{masquage}} = t_{\text{min\_masquage}} \cdot N_{\text{pièces}} \cdot \text{Coef}_1 + t_{\text{base\_masquage}} \cdot \text{Coef}_2$$

(1)

Avec :  $t_{\text{min\_masquage}}$  : durée minimale de masquage pour une pièce dont la forme est du plus faible niveau de complexité (en heures) ;  $N_{\text{pièces}}$  : nombre de pièces livrées avec la commande ;  $\text{Coef}_1$  : coefficient dépendant de la complexité de la forme de la pièce. En effet, plus la forme de la pièce est complexe, plus l'opération de masquage requiert de temps. Le coefficient peut prendre quatre valeurs possibles dépendantes du degré de complexité de la pièce. Les correspondances sont données dans le tableau 4.4. ;  $t_{\text{base\_masquage}}$  : durée requise pour l'opération de masquage qui peut être due au rassemblement du matériel nécessaire, disposition des pièces sur le poste de travail, etc (en heures); et  $\text{Coef}_2$  : coefficient dépendant du volume des pièces manipulées. En effet, plus les pièces sont volumineuses, plus la durée de masquage sera importante et nécessitera un outillage



spécial qui requiert un temps d'utilisation plus important. Ce coefficient peut lui aussi prendre quatre valeurs possibles. Ces quatre valeurs dépendent du type de pièce et sont nommées en tableau 4.5.

Parfois, la commande peut requérir une deuxième opération de masquage comme c'est le cas avec les familles de produits 10,11 et 12. Dans ce cas, on remarque une variabilité dans la durée de masquage donnée par l'expression (2) suivante :

$$t_{2\text{ème\_masquage}} = t_{\text{masquage}} \pm \Delta_{t_{\text{masquage}}} \quad (2)$$

Avec :  $\Delta_{t_{\text{masquage}}}$  : Valeur comprise entre 0 et 5%.

Chaque opération de masquage implique obligatoirement une opération de démasquage après les opérations de bain. En effet, le masquage sert à éviter le traitement par bain sur certaines zones de la pièce. Il peut s'agir d'alésage, de rivet, de zone servant d'appui à un assemblage futur, etc. Le masquage est donc une opération qui consiste à placer des protections qui doivent être retirées lors du démasquage. La durée de l'opération de démasquage est proportionnelle à celle du masquage et donnée par l'expression (3) ci-après :

$$t_{\text{démasquage}} = t_{\text{masquage}} \cdot \tau_{\text{démasquage}} \quad (3)$$

Avec :  $\tau_{\text{démasquage}}$  : part que représente la durée de démasquage par rapport au masquage, exprimée en pourcentage, d'une valeur de 30%.

Si la commande requiert une deuxième opération de démasquage, alors la durée est donnée par l'expression (4) :

$$t_{2\text{ème démasquage}} = t_{2\text{ème\_masquage}} \cdot \tau_{\text{démasquage}} \quad (4)$$



La deuxième opération de notre modèle comprend les étapes concernant le bain et constitue le cœur de l'activité des MTS. Lors du bain électrolytique, les pièces sont tout d'abord triées en fonction du traitement qu'elles doivent recevoir. On considère dans notre modèle trois types de bains. Pour chaque type de bain, le MTS dispose de lignes de production dédiées, chacune d'elle composées de trois bacs à bain. Ce qui forme donc un parc de neuf bacs à bain pour répondre à l'ensemble de la demande. Là encore, le nombre de trois pour les différents types de bains est un choix de modélisation. Ce nombre est bien représentatif de la réalité, bien souvent les MTS concentrent leurs offres sur quelques types de bains électrolytiques. Les opérations de bain se déroulent en trois étapes :

➤ Première étape :

Les opérateurs responsables des neuf bacs à bain prennent en main les pièces de la commande. Si le volume de l'ensemble des pièces est trop important, c'est-à-dire si les pièces rassemblées dépassent un volume de 100 000 cm<sup>3</sup>, alors la commande est divisée en plusieurs lots de tailles identiques. Évidemment, si la commande est divisée en plusieurs lots, la durée totale de la première étape est segmentée en fonction du nombre de lots. Mais mis bout à bout, ces intervalles de temps sont égaux à la durée totale quantifiée avant la partition de la commande. Lors de la première étape, les opérateurs doivent accrocher les pièces à des grappes ou bien placer les pièces dans des paniers au besoin. Cette étape requiert une durée de mobilisation des ressources humaines dédiées à la tâche, mais requiert aussi un bac à bain. Ainsi, un bac à bain ne peut pas être utilisé durant cette première étape, car les opérateurs doivent aussi préparer le bain. La durée de cette étape est donnée par l'expression (5) :

$$t_{prép.} = t_{min\_prép.} \cdot N_{pièces} + t_{base\_prép.} \cdot Coef_{prép.} \quad (5)$$

Avec :  $t_{min\_prép.}$  : durée requise pour manutentionner et accrocher une seule pièce ou la placer dans un panier (en heures);  $t_{base\_prép.}$  : durée requise pour la préparation du matériel d'accrochage, des paniers, des systèmes de mise et maintien en position, etc. (en heures); et  $Coef_{prép.}$  : coefficient de préparation qui peut prendre quatre valeurs possibles différentes. Ces valeurs dépendent du type de pièce et sont nommées en tableau 4.5. Plus les pièces sont volumineuses et plus elles prendront de



temps à être installées dans les paniers ou sur les grappes de bain. Certaines pièces très volumineuses peuvent nécessiter un système de mise en position spécifique qui requiert beaucoup de temps.

Si la commande nécessite une deuxième opération de bain et donc d'une deuxième étape d'accrochage, on considère que la durée pour ce deuxième passage diffère du premier à hauteur de plus ou moins 5% :

$$t_{2\text{ème\_prép.}} = t_{\text{prép.}} \pm \Delta_{t_{\text{prép.}}} \quad (6)$$

➤ Deuxième étape :

La préparation du bain est terminée, les pièces peuvent être plongées dans la mixture. Les opérateurs sont libérés et peuvent passer à une autre tâche, une autre commande. Le bac à bain quant à lui est toujours requis bien sûr. La durée du bain est celle spécifiée par la séquence d'opérations. Les durées possibles sont recensées dans le tableau 4.3. Si la commande est divisée en plusieurs lots, il faudra réaliser autant de fois cette étape qu'il y a de lots.

➤ Troisième et dernière étape :

Lorsque le bain et le dépôt électrolytique sont terminés, les pièces peuvent être retirées du bac à bain, les opérateurs sont à nouveau mobilisés. Le bac à bain reste évidemment toujours indisponible jusqu'à la fin de cette étape. La durée de l'étape de décrochage est donnée par l'expression (7) similaire à (2) :

$$t_{\text{décrochage}} = t_{\text{prép.}} \pm \Delta_{t_{\text{décrochage}}} \quad (7)$$

Avec :  $\Delta_{t_{\text{décrochage}}}$  : Valeur comprise entre 0 et 5%.

Comme pour l'accrochage, si un deuxième décrochage est nécessaire on considère que la durée au deuxième passage est identique au premier, d'où (8) :

$$t_{2\text{ème\_décrochage}} = t_{\text{décrochage}} \pm \Delta_{t_{\text{décrochage}}} \quad (8)$$



**Tableau 4.4: Valeur du coefficient de masquage en fonction de la complexité de la forme des pièces**

Degré de complexité de la forme de la pièce	<i>Coef<sub>1</sub></i>
1	1
2	2
3	3
4	4

**Tableau 4.5: Valeur des coefficients de masquage et d'accrochage en fonction du type de pièce**

Type de pièce	<i>Coef<sub>2</sub></i>	<i>Coef<sub>prep.</sub></i>
1	1	1
2	2	2
3	3	4
4	4	6

La plupart des MTS divisent les commandes qu'ils reçoivent parce que la taille de leur bac bain ne permet pas toujours de les traiter en une seule fois. Il faut alors réaliser autant de fois le bain que la commande a été morcelée. Lorsque le volume de la commande dépasse le volume d'accueil nominal du bac à bain, nous considérons pour notre modèle que les équipes d'opérateurs pour le bain ont le comportement suivant : le volume total est évalué visuellement et qualitativement. Si la commande dépasse clairement le volume nominal du bac à bain, alors la commande est divisée en autant de parts égales que nécessaire. Nous estimons que le volume de la commande est visuellement trop important à partir de 1,5 fois le volume nominal du bac à bain. Le modèle retiendra la valeur de 300 000 cm<sup>3</sup> pour le volume nominal de chacun des bacs à bain.



On considère dans notre modèle que les clients peuvent appeler à différents moments lors du traitement des commandes. Ainsi, on liste les événements et les changements qui y sont liés :

- Après la réception des colis : les clients qui appellent voient la priorité de leurs commandes augmentée, leur niveau gagne une unité.
- Avant les opérations de masquage : les commandes prioritaires voient leur niveau de priorité augmenter de 1 ou 2. La moitié des commandes prioritaires se voit attribuer la première valeur.
- Avant les opérations de bain : idem.

Ainsi, la valeur maximale qu'un niveau de priorité peut atteindre est 14. Pour le montrer, il faut détailler l'évolution des niveaux de priorité pour une commande qui fait l'objet d'appels récurrents : niveau initial : 1 ; réception : +1; Masquage : +1 ou + 2, si deuxième masquage, on ajoute encore +1 ou + 2; bain : +1 ou + 2, si deuxième bain, on ajoute encore +1 ou + 2 ; et démasquage : +1 ou + 2, si deuxième démasquage, on ajoute encore +1 ou + 2. Si on considère une commande qui gagne le maximum de niveaux de priorité, on arrive à 14.

On considère que les clients qui contactent le MTS sont clairement identifiés, les autres clients n'appelant pas pour changer le niveau de priorité de leurs commandes. On considère aussi que lorsqu'un client appelle le MTS pour un changement de priorité, il le fait pour chacune de ses commandes. Dans notre modèle, les clients qui changent leur priorité sont ceux qui sollicitent le MTS avec les familles de produits 1,4,7 et 10. Au niveau des files d'attente des ateliers de masquage/démasquage et de bain, les commandes dont le niveau de priorité est maximal seront traitées en premier, c'est la règle du FIFO priorisée : les commandes sont traitées en FIFO, mais le niveau de priorité prime sur la date d'arrivée au sein du système de production. Ce fonctionnement dérive du cas réel étudié et décrit dans la section 4.2.1. Les valeurs des niveaux de priorité ont été choisies pour qu'elles se rapprochent de la réalité étant donné que les niveaux réels de priorité ne sont pas connus. On a donc traduit des différents niveaux de sollicitation par une échelle de niveaux de priorité. C'est une simplification qui nous paraît raisonnable, car elle est une traduction numérique simple et directe de ce phénomène et représente véritablement ce qui se passe vraiment avec les sollicitations téléphoniques.



### 4.3 Analyse critique des choix de modélisation

Le modèle que nous venons de décrire n'est pas le reflet parfait de la réalité. Les collectes de données et l'analyse de processus d'affaires ne suffisent pas pour associer des valeurs numériques aux paramètres, coefficients et indicateurs de performance identifiés. Ainsi, il a été nécessaire de procéder à des simplifications et des formulations d'hypothèses acceptables et raisonnables. On pourrait penser dans un premier temps que ces choix de modélisation ne soient pas suffisants pour construire notre modèle, mais on rappelle que l'objectif n'est pas de mettre au point un modèle reflétant la stricte réalité d'un cas d'étude. En réalité, il s'agit plutôt de créer un modèle théorique recréant les mécanismes observés. L'objectif étant de comparer deux approches, approche actuelle et proposée, l'essentiel est de conserver les mêmes comportements et mécanismes observés pour les deux modèles.

Plusieurs façons de modéliser la génération des commandes ou plus exactement plusieurs types de distribution aléatoires se présentaient à nous. Une distribution aléatoire suivant une loi normale, celle que nous avons choisie, avec un faible écart-type (0,5 h) présente l'avantage de garder une fréquence d'arrivée des commandes relativement stable. Nous aurions pu utiliser une distribution aléatoire triangulaire, mais les valeurs maximale, moyenne et minimale ont un impact majeur sur le temps écoulé entre deux commandes, mais il aurait fallu connaître avec précision les trois valeurs définissant la distribution triangulaire. Avec la distribution aléatoire suivant une loi normale, on peut fixer un écart type, et ensuite grâce à une étape de calibration du modèle, déterminer la valeur moyenne. Ainsi, une seule inconnue est à déterminer au lieu de trois sans que cela ait un impact réel sur la validité du modèle.

Aussi, les durées d'opérations auraient dû être basées sur des valeurs historiques dont nous ne disposions pas. Nous aurions alors utilisé une distribution aléatoire suivant une loi triangulaire par exemple. Le choix de calculer et ensuite d'attribuer les valeurs de ces durées d'opérations à chaque commande a été fait. Ces calculs sont soumis aux équations décrites précédemment, qui mettent en jeu plusieurs coefficients et variables dont les valeurs sont issues d'une calibration. L'avantage présenté par cette façon d'attribuer les valeurs des durées est que le modèle peut être appliqué à un cas réel en remplaçant simplement les valeurs obtenues à travers notre calibration par des valeurs réelles propres à ce cas réel. De plus, les équations qui ont été établies permettent de bien



comprendre les impacts qu'ont la complexité de la forme des pièces, du nombre et volume de pièce par commande sur les temps opératoires.

Pour ce qui est des gammes d'opérations, quatre types de gammes d'opérations se basent sur un choix de modélisation. Ces quatre types de gammes d'opérations recensent les combinaisons d'opérations les plus probables et les plus représentatives parmi les MTS : une opération de bain seulement, bain suivi d'un masquage/démasquage, et la même chose avec deux bains. Les opérations avec deux bains sont importantes, car ce sont elles qui vont faire intervenir dans une même file d'attente des commandes fraîchement arrivées et des commandes ayant déjà subi plusieurs opérations. Les trois types de bains sont tous concernés par les quatre types de gammes pour qu'il n'y ait pas d'asymétrie dans le flux de produit. Aussi, les proportions de chaque famille de produit s'inspirent de ce qui a été observé avec le cas d'étude : elles ne sont que des proportions réalistes. Ces proportions montrent que les gammes impliquant un masquage/démasquage suivi d'un bain se distinguent par leur prédominance, justement parce que ce type de gamme est l'une des plus classiques pour les MTS. Les durées de bain ont été tirées de l'analyse des gammes d'opérations dont nous disposons.

Ensuite, le modèle proposé du processus actuel présente la division des commandes en lot. Le comportement des opérateurs de bain décrit s'inspire de ce qui a été observé sur le plancher de production : les opérateurs ont une certaine plage de tolérance quant au volume maximal de pièce à introduire dans le bac à bain, ce qui justifie le fait de dépasser le volume nominal des bacs à bain. Le modèle implique aussi que les bacs à bain soient de taille identique, ce qui est là encore pertinent parce qu'observable sur le plancher de production.

Enfin, au niveau de la gestion des priorités, là encore aucune donnée historique du cas d'études n'a été utilisée, il s'agit de choix de modélisation. L'attribution des niveaux de priorité se fait après chaque opération plutôt qu'en fonction du temps. Cela reste pertinent, car même si un client contacte le MTS pendant qu'une de ses commandes est en train d'être traitée, on ne peut pas accélérer l'opération en elle-même. Son niveau de priorité sera actualisé après la réalisation de l'opération. La gamme de niveaux de priorité de 1 à 14 est largement suffisante pour assurer une certaine diversité dans les niveaux de priorité, même si une fois de plus cette gamme ne se base pas sur des données réelles.



Ainsi, même si les choix de modélisation ne prennent que très peu en compte les informations issues d'un cas réel de MTS, les choix reposent sur des approximations acceptables et raisonnables. Surtout, le modèle permet de reproduire les problématiques observées dans notre cas d'étude et chez la majorité des MTS du secteur aéronautique.



## CHAPITRE 5 MODÈLE DU PROCESSUS SOUHAITÉ (TO-BE)

### 5.1 Introduction

À la vue des problèmes constatés avec le processus actuel et les lacunes de la littérature, nous proposons dans le présent chapitre un nouveau processus que nous appellerons TO-BE. Ce processus doit permettre d'améliorer les performances du MTS tout en assurant le traitement complet du volume des commandes. Ainsi, ce processus vise à être bénéfique tant pour le MTS que sa clientèle prenant part à des engagements contractuels. Les sections suivantes décrivent les différences entre les processus TO-BE et AS-IS tant sur le passage des commandes et l'utilisation de la capacité que la gestion des niveaux de priorité. Une discussion abordera la pertinence du modèle TO-BE vis-à-vis de son applicabilité et de sa contribution à la littérature.

### 5.2 Processus souhaité (TO-BE)

On rappelle que le processus AS-IS présente certaines lacunes :

- Le manque d'anticipation de la charge de travail pour le MTS, qui l'empêche de réagir efficacement à la demande.
- Une gestion des priorités arbitraire réagissant à l'urgence et à l'intensité des requêtes de la clientèle.

Le processus TO-BE vise à répondre à ses deux problèmes.

#### 5.2.1 Passage des commandes

Pour éviter une hausse brutale de la demande, il convient, de la part des clients engagés dans un contrat de réservation de capacité, d'annoncer à l'avance les besoins requis et de respecter cette annonce. Étant donné que la hausse de la demande peut se traduire par une hausse du nombre de pièces par commande et donc par une hausse du volume des commandes, le processus TO-BE se base sur un volume mensuel limite de commande par client engagé dans un contrat. Chaque client doit alors s'engager sur le respect de la règle suivante :

$$\sum_{j=1}^{N_i} V_{i,j} \leq V_{c_i} \pm \Delta V_{c_i} \quad (9)$$



Avec :  $N_i$  : nombre maximal de commandes passées par le client  $i$  durant un mois ;  $V_{i,j}$  : volume de la  $j^{ème}$  commande ( $cm^3$ ) passée par le client  $i$ ;  $V_{c_i}$  : volume mensuel moyen ( $cm^3$ ) des commandes, correspondant à une limite définie par le MTS et le client  $i$  ; et  $\Delta V_{c_i}$  : tolérance relative à la limite précédente.

Le client a la liberté de passer ses commandes comme il le souhaite, c'est-à-dire qu'il peut choisir de retenir une commande au début d'une période (mois) et de la libérer le mois suivant afin de respecter son engagement. Aussi, le MTS impose aux clients des frais de réservation qui sont déduits par la suite si les engagements sont respectés. Le processus TO-BE n'apporte pas de changement quant aux délais requis par rapport au processus AS-IS. Pas de modifications non plus au niveau du calcul des durées opératoires du masquage/démasquage et de la préparation aux bains. Enfin, le processus de passage des commandes pour les clients qui ne se sont pas engagés dans un contrat de réservation de la production reste identique à celui de processus AS-IS. Notons que les commandes issues des contrats de réservation seront qualifiées de commandes PCC pour *Production Capacity Commitment*, alors que les autres seront qualifiées de commandes classiques.

### 5.2.2 Gestion des niveaux de priorité

L'annonce des besoins et l'acquittement des frais de réservation constitue l'engagement pris par la clientèle. En échange, le MTS s'engage à garantir de meilleures performances pour les commandes PCC par rapport aux commandes classiques, mais aussi par rapport aux commandes urgentes du processus AS-IS. Afin de garantir de meilleures performances, le MTS s'engage à attribuer des niveaux de priorité différents en fonction du type de commande : d'une part, les commandes classiques se voient attribuer un niveau de priorité de valeur 1 dès leur entrée dans le système de production. D'autre part, les commandes PCC se voient attribuer un niveau de priorité de valeur 2 dès leur entrée dans le système de production.

## 5.3 Discussions

La principale modification entre le processus actuel et celui se basant sur de la réservation de capacité se base sur le contrôle du volume des commandes passées. Le volume et les durées de bain sont liés et en contrôlant le volume, on doit pouvoir contrôler l'utilisation des ressources du MTS, notamment concernant l'activité première du MTS, c'est-à-dire les opérations de bain électrolytique. C'est ainsi que s'opère la réservation de la capacité de production : en imposant une



limite mensuelle sur le volume commandé aux clients engagés dans une relation collaborative, le MTS délègue le soin de répartir la charge de travail au cours d'un horizon donné au client. Ce qui est faisable en tenant compte du fait que les clients connaissent les besoins de leur propre clientèle à l'avance. En effet, les grands donneurs d'ordres ont établi des programmes de production sur plusieurs années. Ainsi, les clients des MTS possèdent un historique de leur besoin, ils sont donc en mesure d'organiser le passage de leur commande en adéquation avec les engagements pris auprès de leur MTS.

Une autre différence majeure par rapport au processus AS-IS repose sur le fait que le MTS n'a plus à considérer les appels censés l'inviter à changer les niveaux de priorité des commandes. Les clients plus exigeants devront passer par des contrats de réservation. Ceci dit, pour que ces clients soient intéressés pour passer par un tel contrat, il faut nécessairement que les performances de service soient au moins équivalentes, voire meilleures. C'est pour cette raison que le processus proposé doit faire l'objet d'une étude de faisabilité en analysant leurs performances et en les comparant à celles du processus AS-IS. En attribuant un niveau de priorité égal à 2 aux commandes PCC dès leur entrée dans le système de production, on s'attend à ce que leurs performances soient au moins aussi bonnes que celles des commandes urgentes du processus AS-IS.

Aussi, si l'on regarde plus en détail les caractéristiques du modèle du processus TO-BE, on se rend compte que le point de vue adopté prend en compte la position du MTS contrairement à beaucoup d'autres modèles de la littérature. En effet, c'est le MTS qui attribue ou non des niveaux de priorité supérieurs à ces clients en leur imposant de partager des informations sur leur demande, sans que celles-ci soient d'ordre stratégique puisqu'il ne s'agit que de volumes de commandes ou d'heures de bain requis par période, contrairement aux méthodes CRP ou VMI. Ce processus permet au MTS de planifier l'utilisation de ses ressources et de réduire l'effet des commandes des clients qui ne se sont pas engagés dans la réservation de capacité. La part de commandes réservées permet au MTS de mieux gérer ses ressources et notamment ses ressources humaines. En ayant une meilleure visibilité sur la demande future et ses variations, le MTS peut être plus proactif dans l'attribution des ressources aux secteurs de son infrastructure. Une telle stratégie peut même déboucher sur des lignes de production dédiées si les niveaux de réservation sont assez importants. Ce qui impliquerait une réduction du délai de traitement et des coûts de production. Si une baisse de la demande est annoncée grâce à une baisse du nombre de contrats de réservation, le MTS peut mitiger ses ressources de production pour éviter leur sous-utilisation. Le recrutement et la formation d'un



personnel qualifié demandent du temps, cette stratégie peut rendre possible une anticipation de ce problème. Ainsi, le prestataire en traitement de surface obtient certaines garanties et de la fermeté dans la prise de commande. Les frais de réservation, du même type que ceux décrits par Jin & Wu avec les contrats de type *Deductible Réservation* (2007), contribuent à cette fermeté. L'un des grands avantages du processus TO-BE est d'être applicable à des familles de produit, les contrats passés n'ont pas à être négociés produit par produit comme avec l'ECR ou le CPFR surtout. En revanche, le processus TO-BE reprend certaines bonnes pratiques du CPFR, notamment l'établissement et les révisions périodiques des contrats.

**Tableau 5.1: Lacunes comblées et atouts repris par le processus proposé**

Contributions du processus souhaité TO-BE (contrat type PCC)	
	PCC
<b>Lacunes ou cause d'inadaptabilité pour le cas des MTS</b>	
Se limite au point de vue de l'acheteur	X
Généralement un produit unique par fournisseur	X
Pas de planification de l'utilisation des ressources	X
Se limite à la production sur stock	X
Se limite à la production de masse	X
Contrainte financière pour l'acheteur	●
Limité aux ventes saisonnières	X
Partage d'information stratégique	X
Pas de gestion des opérations, se limite à une planification stratégique	X
Reprise d'articles par le fournisseur	X
Très long terme, gros volumes d'échange, se limite au secteur de l'énergie	X
<b>Atouts pour le cas des MTS</b>	
Générations de commandes fermes avec des termes détaillés	V
Révisions périodiques du contrat	V
Garanties pour le fournisseurs, adapté à une demande volatile	V
Possibilité de diversifier des stratégies d'approvisionnement	V



## 5.4 Conclusion

Le processus proposé apporte des modifications importantes, mais peu nombreuses au processus actuel. Le contrôle et le suivi du volume des commandes passées doivent permettre de diminuer les variations brutales de la charge de travail et permettre au MTS de mieux gérer l'utilisation de ses ressources. Les performances de ce processus doivent être comparées à celle du processus actuel, notamment dans des situations présentant des fluctuations fortes de la demande, en raison de l'effet coup de fouet par exemple. Ces situations seront présentées dans le chapitre suivant traitant des expériences. Aussi, une question se pose par rapport au pourcentage de commande qui doivent être passées sous contrat de réservation : quelle est doit-être ce pourcentage ? C'est ce que les expériences doivent montrer en faisant varier le niveau de réservation, c'est-à-dire le nombre de clients prenant part au contrat de réservation.



## CHAPITRE 6 EXPÉRIENCES

### 6.1 Introduction

Ce chapitre a pour but d'évaluer de façon précise notre approche pour valider la modélisation du processus actuel et du processus souhaité dans différents contextes. La validation du processus actuel doit s'effectuer par l'implémentation du modèle dans un langage informatique renvoyant des données correspondant à celles issues de la collecte de données ou des choix de modélisation. Ensuite, on listera l'ensemble des indicateurs de performances sur lesquels se baseront les résultats. Cela nous permettra ensuite de développer un cadre expérimental pour la calibration et les expériences pour le processus souhaité. Le modèle de simulation à événements discrets utilisé à cet effet sera décrit.

### 6.2 Indicateurs de performance

Les indicateurs de performances sont les outils nécessaires aux décideurs sur lesquels ils peuvent baser un raisonnement convenable. Nous listons dans cette section l'ensemble des indicateurs de performances avec leur critère et leurs niveaux. Les valeurs des niveaux que nous allons utiliser sont issues d'une consultation d'experts, notamment faisant partie de la clientèle d'un MTS. Des adaptations ont dû être nécessaires pour que les valeurs des critères soient cohérentes avec notre modèle, car certaines des hypothèses posées entraient en contradiction avec les données brutes de l'expertise.

Ainsi, l'un des indicateurs les plus importants et qu'il convient d'évoquer en premier lieu est le taux de service. Ce terme désigne le taux en pourcentage de commandes qui ont été livrées à temps par rapport au nombre total de commande. C'est un indicateur de performance maître, car il donne une idée de la capacité du MTS à répondre aux exigences des clients en termes de délai. En effet, les délais constituent avec le coût et la qualité la base des performances d'une entreprise. L'expert consulté pour cet indicateur relate une valeur de 95% en précisant que c'est une performance particulièrement élevée. Cet expert a acquis une longue expérience en travaillant pour un manufacturier du secteur aéronautique ayant recours aux services d'un MTS au Québec.

L'autre indicateur de performance maître est le délai de traitement. Il désigne le délai de traitement de la commande, c'est-à-dire le temps de cycle entre les étapes de réception et de livraison. Un



mauvais délai de traitement n'engendre pas forcément des retards et n'abaisse pas automatiquement le taux de service, mais il est le reflet d'une mauvaise gestion des commandes. En effet, le délai de traitement comprend les temps opératoires sur lesquels nous n'avons pas e marge de manœuvre, mais aussi les temps d'attentes. Il faut chercher à réduire ces temps d'attentes afin de proposer aux clients de meilleur délai de réponse. Ainsi, le délai de traitement un indicateur qui mérite d'être inclus dans notre recherche. L'analyse des données et le témoignage d'experts nous permettent d'affirmer que le délai de traitement d'un MTS se situe autour de 5 jours ouvrables. Nous avons dit précédemment que nous ne considérons pas certaines opérations dans notre modèle. Ainsi, les durées de traitement des opérations de réception, du service des méthodes, de peinture et de conditionnement pour l'expédition sont estimées à 3 jours ce qui donne un délai de traitement adapté de 2 jours environ.

L'expert consulté a aussi fourni des informations capitales sur les valeurs des retards lorsque ceux-ci survenaient : ils sont généralement de 1 à 2 jours. Cette information vient compléter celles sur le taux de service. Pour cet indicateur, nous considérons que les valeurs peuvent être prises en compte telles quelle, car les opérations qui sont susceptibles d'engendrer des retards sont les opérations goulots, c'est-à-dire le masquage et les traitements par bain. Or ce sont les seules opérations prises en compte dans notre modèle. Nous conservons donc 1 à 2 jours pour les nombres de jours probables pour un retard de livraison.

Un autre aspect important d'évaluation de notre système de production est l'utilisation des ressources. Les ressources de production, on l'a vu dans la section 4.3.3 est une des sources majeures d'inquiétudes pour les MTS. L'optimisation de leur utilisation correspond à une optimisation des coûts et de la rentabilité du système productif. Ainsi, pour ce qui est des ressources machines, l'expert consulté évoque un taux d'utilisation de 35% dans le cas d'un MTS qui n'a pas d'activité en fin de semaine et ouvre ses plages de travail pendant 8h par jour. Nous retiendrons environ 30% comme une référence fiable.

Les autres ressources que nous devons prendre en compte dans l'étude sont les ressources humaines. Cette fois-ci, nous pouvons affirmer que les valeurs de l'expertise et celles que nous allons utiliser sont les mêmes, car quelles que soient les opérations ou plages horaires de travail considérées, le taux d'utilisation des ressources humaines doit rester le même. Ce taux d'utilisation



va de 75 à 80%. Le tableau 6.5 récapitule l'ensemble de la discussion sur les valeurs des niveaux des indicateurs de performances :

Tableau 6.1: Indicateurs de performance

<b>Critère de performance</b>	<b>Niveaux</b>	
	<i>Experts</i>	<i>Adaptés</i>
Délai de traitement	Environ 5 jours	Environ 2 jours
Taux de service	95%	95%
Retard	1 à 2 jours	1 à 2 jours
Taux d'utilisation des ressources machines	35%	30%
Taux d'utilisation des ressources humaines	75 à 80%	75 à 80%

### 6.3 Cadre expérimental

Cette section permet de définir le plan d'expérience qui va permettre de confronter notre modèle du processus actuel AS-IS à la réalité constatée dans une démarche de validation du modèle. Le plan d'expérience prévoit aussi de confronter le modèle du processus amélioré TO-BE à différentes situations permettant ainsi de prouver sa capacité à atteindre les objectifs fixés, c'est-à-dire améliorer les performances en croisant plusieurs scénarios de demande. Le cadre expérimental se compose donc de deux parties. La première est la calibration permettant d'obtenir un modèle de processus actuel AS-IS valable. La deuxième partie décrit les scénarios envisagés permettant d'évaluer le processus souhaité TO-BE. La section se termine par une description du modèle de simulation utilisé où l'on explicitera notamment les intrants du modèle et où l'on montrera qu'avec notre modèle on obtient des indicateurs de performance proches des valeurs de référence.



### 6.3.1 Calibration du modèle du processus actuel (AS-IS)

La calibration doit permettre de figer les valeurs de certains paramètres qui interviennent dans le modèle de simulation. Cette validation se fait progressivement en fixant une valeur pour un paramètre puis en modifiant les valeurs des autres paramètres. En observant les résultats de la simulation qui sont présentés en section 6.5.2, on peut arriver à fixer les valeurs des paramètres les unes après les autres. L'objectif est d'obtenir des indicateurs de performances proches des valeurs de références décrites en section 6.2. Ci-après les résultats de cette calibration :

Tableau 6.2: Valeurs des durées minimales et de base pour masquage et l'accrochage

	en secondes		en minutes
tmin_masquage	72	tbase_masquage	18
tmin_prép.	104	tbase_prép.	6

Tableau 6.3: Valeur du coefficient  $Coef_1$  en fonction du degré de complexité

Degré de complexité de	$Coef_1$
1	1
2	2
3	3
4	4

Tableau 6.4: Valeurs des coefficients  $Coef_2$  et  $Coef_{prep.}$

Type de pièce	$Coef_2$	$Coef_{prep.}$
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4



Le temps écoulé entre deux arrivées de commande est aussi issu de la phase de calibration et que l'on a obtenu une valeur moyenne de 3,1 h entre deux commandes avec un écart-type d'une demi-heure.

### 6.3.2 Expériences pour le processus amélioré (TO-BE)

L'objectif des expériences pour le processus amélioré est de comparer les performances du dit processus avec celles du processus actuel afin de conclure sur la faisabilité de notre proposition. Le processus proposé TO-BE se veut être un processus permettant de contrer les effets des fluctuations brutales de l'utilisation de la capacité. Il faut donc réaliser des expériences avec différents scénarios mettant en jeu différentes situations de charge de travail. Pour nos expériences, nous proposons de générer des hausses et des baisses de charge de travail en faisant varier le nombre de pièces par commande d'un mois à l'autre sur un horizon d'un an. Ces variations s'effectueront en ajoutant à notre modèle AS-IS un coefficient multiplicateur ( $K$ ) variable au niveau du nombre de pièces par commande  $N_{pièces}$  défini dans le tableau 4.1 dans la section 4.2.2.1. On rappelle que pour chaque commande, le nombre de pièces est une variable aléatoire qui suit une distribution normale de moyenne  $\mu$  et d'écart-type  $\sigma$ . Le coefficient multiplicateur  $K$  est affecté à la moyenne  $\mu$ .

Nous considérons les scénarios suivants :

- Scénario stable : la demande ne suit pas de fluctuations particulières, le nombre de pièces n'augmente pas ni ne diminue en moyenne, soit  $K$  est constamment égal à 1.
- Scénario 1 : la demande suit une fluctuation sinusoïdale, le nombre de pièces moyen maximal/minimal est augmenté/diminué de 1,1/0,9 fois.
- Scénario 2 : la demande suit une fluctuation sinusoïdale, le nombre de pièces moyen maximal/minimal est augmenté/diminué de 1,2/0,8 fois.

Nous avons retenue des fluctuations sinusoïdales afin que la demande générée lors des pics de demande puisse être absorbée lors des creux de demande. Aussi, pour que l'absorption puisse se produire, il est nécessaire que la demande moyenne au cours de l'horizon soit la même. Une fonction sinusoïdale permet de remplir ces deux conditions.

Le graphe suivant récapitule les valeurs prises par  $K$  en fonction du mois de l'horizon annuel :



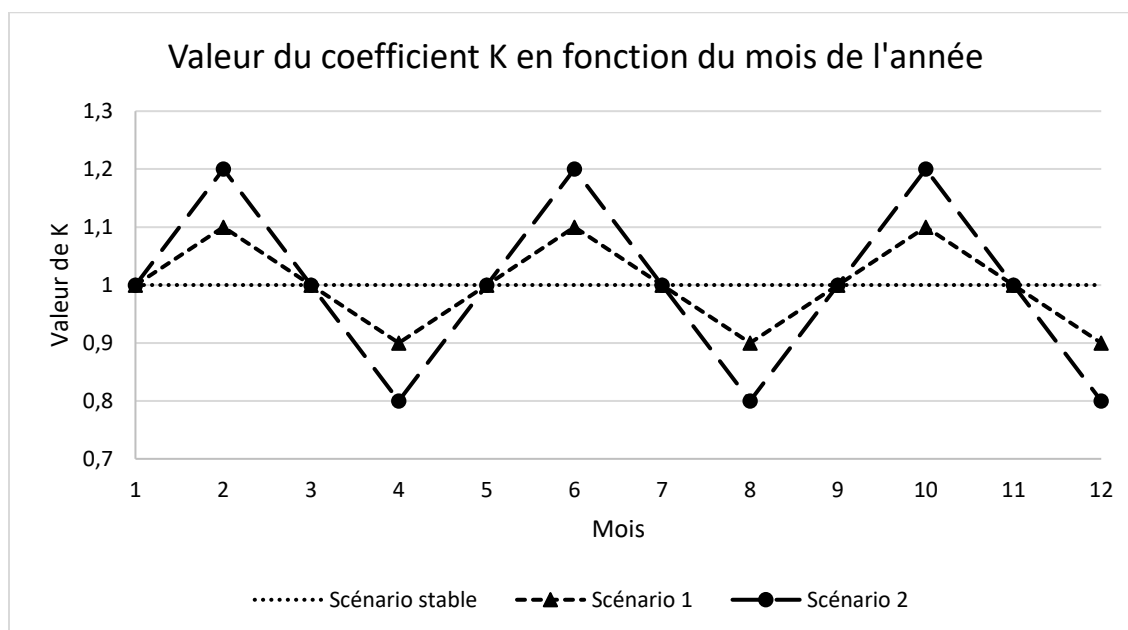


Figure 6.1: Valeur du coefficient K en fonction du mois de l'année

Le premier plan d'expérience doit permettre d'analyser la réaction du processus proposé face à des situations de faible et grande variabilité de la demande. Il convient donc de relever les indicateurs de performance des deux processus AS-IS et TO-BE confrontés aux différents scénarios et de les comparer. Pour ces expériences, nous considérons un seul cas de figure, celui où les clients 1, 2, 5, 6, 7, 9, 10 et 12 se sont engagés dans un contrat de réservation de capacité. En effet, parmi les 10 listes de clients combinés (Tableau 6.5), le cas de figure évoqué précédemment est le premier scénario impliquant tous les groupes de familles de produit et tous les types de bain. Cela est primordial, car on cherche à valider le modèle, ce qui veut dire que l'on ne doit pas faire intervenir de biais dans l'utilisation des ressources et dans le flux de produits. Aussi, il est préférable de ne pas avoir une part de client qui appelle la plus proche de 50% possible pour avoir une répartition homogène de commandes urgentes et non urgentes. La combinaison évitant d'introduire d'éventuels biais est la combinaison des clients 1, 2, 5, 6, 7, 9, 10 et 12. En effet, de tels biais pourraient avoir un impact sur les performances et fausser notre analyse de validation.

Aussi, on a vu que le nombre de clients qui changent le niveau de priorité de leur commande peut varier, on parle alors de niveau d'appel. Pour comparer convenablement les processus AS-IS et TO-BE, il est nécessaire de relever et de comparer les performances globales du processus TO-BE



lorsque les mêmes clients qui s'engagent à ne plus appeler, mais à respecter un contrat de réservation de capacité. On parle dans ce cas de niveau de réservation. Les différents niveaux de réservation envisagés suivent un deuxième plan d'expérience proposé et présenté dans le tableau 6.5:

Tableau 6.5: Listes des clients par niveaux de réservation de capacité

<b>Expériences</b>	<b>Listes des clients prioritaires (AS-IS) / contrat (TO-BE)</b>	<b>Niveau d'appels (AS-IS) / de réservation (TO-BE)</b>
1	1	8%
2	1, 2	16%
3	1, 2 et 5	31%
4	1, 2, 5 et 6	46%
5	1, 2, 5, 6 et 7	52%
6	1, 2, 5, 6, 7 et 9	58%
7	1, 2, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	66%
8	1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	75%
9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	90%
10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 12	96%

On remarque que le choix dans les ajouts de clients d'un niveau à un autre vise à répartir équitablement la charge de travail parmi les différents types de bains.

Aussi, dans la description du modèle proposé, le comportement des clients engagés dans un contrat de réservation de capacité n'est pas défini précisément, il manque notamment certaines valeurs numériques pour procéder aux deux séries d'expériences évoquées précédemment. Ainsi, d'une part nous avons introduit une tolérance quant au respect de la limite sur le volume mensuel commandé. Pour nos expériences, nous considérons une tolérance de 15%. En effet, avec des tolérances plus exigeantes ( $<15\%$ ) nous donnerions très peu de marge de manœuvre aux clients. Autrement dit, en commandant à peine quelques commandes de trop ( $<10$ ), le client dépasserait la limite sur le volume mensuel. Cela se traduirait par une intransigeance que le MTS ne peut pas se permettre avec le client. D'une autre part, nous définissons la limite sur le volume mensuel des commandes comme étant le volume mensuel moyen des commandes sur un horizon d'une année



et pour 100 répliques du modèle de simulation AS-IS avec une demande stable. On remarquera que chaque limite est propre à un seul client.

## **6.4 Modèle de simulation ARENA**

Un logiciel de simulation à événement discret -ARENA- a été utilisé pour implémenter notre modèle dans un langage de programmation. Nous allons décrire ce modèle de simulation et les hypothèses qui ont été faites à cet effet. La particularité du logiciel ARENA est d'apporter des modifications à des entités qui entrent dans le modèle de simulation. Ainsi, il convient de décrire en premier les intrants du modèle de simulation. Nous décrirons aussi comment ont été implémentées les fonctions du modèle conceptuel dans le modèle de simulation dans la section dédiée aux spécifications. Une autre section traitera du paramétrage de la simulation et de son exécution. La dernière partie portera sur la validation du modèle de simulation en comparant les résultats sortants aux indicateurs de performance.

### **6.4.1 Intrants du modèle**

Les entités générées par le logiciel peuvent être considérées comme les intrants du modèle. Afin de générer des commandes en retard, il a fallu générer des arrivées de commandes afin de recréer la demande de la clientèle et un environnement identique à celui observé dans la réalité. La génération des commandes suit une distribution aléatoire, mais réaliste, car basée sur les données collectées notamment concernant la répartition des commandes en fonction des familles de produit. Il s'agit donc de simulation probabiliste. De même pour les types de pièces, le nombre de pièces par commande, le volume des pièces et le degré de complexité des formes des pièces. Chaque commande (entité) possède donc des attributs, voici la liste des attributs des commande : date d'arrivée; date de livraison; famille de produits; nombre de pièces; volume de la pièce; niveau de priorité; durée effective de bain; durée effective de masquage; durée effective de démasquage; type de bain; durée du premier masquage; durée du deuxième masquage; durée du premier bain; durée du deuxième bain; durée de l'accrochage; durée du décrochage; durée du premier démasquage; durée du deuxième démasquage; accomplissement du premier masquage; accomplissement du deuxième masquage; accomplissement du premier bain; accomplissement du deuxième bain; accomplissement du premier démasquage; et accomplissement du deuxième démasquage. Le degré de complexité de forme des pièces ne figure pas parmi les attributs puisqu'il intervient



indirectement à travers les durées des tâches notamment du masquage. Les attributs liés à l'état effectif de la commande permettent au système productif simulé de reconnaître quelle durée prendre en compte lors de la réalisation des opérations de masquage, de bain et de démasquage. De fait, certains attributs dépendent d'autres attributs. Les attributs liés à l'accomplissement des tâches permettent de connaître l'avancée des tâches de chaque commande et d'assurer leur suivi. Ainsi, les attributs d'accomplissement permettent l'aiguillage des commandes au sein du système productif simulé. Ils reçoivent tous la valeur 0 au début du processus de traitement des commandes bien évidemment. Nous considérons que les ressources mobilisées réagissent de manière identique pour n'importe quelle commande. Il est pertinent de remarquer que le délai requis ne figure pas parmi les attributs. Il est en réalité implicitement apparent avec l'attribut « Date requise » qui est une combinaison de l'attribut « Date d'arrivée » et de la valeur du délai requis attribué à la commande. Pour ce qui est de l'attribut « Niveau de priorité », le niveau attribué par défaut est 1, ce niveau est modifié au cours du traitement de la commande, mais différemment en fonction de la famille de produits et du client en question.

## 6.4.2 Spécification du modèle

Après que les attributs soient assignés aux entités, les données assignées sont transformées au cours de la simulation. Le modèle de simulation rassemble un ensemble de fonctionnalités qui procèdent à ces transformations. Ces fonctions sont composées de modules propres au logiciel de simulation. Cette section a pour but de décrire la façon dont ont été implémentées les fonctions énoncées dans le modèle conceptuel. La figure 6.1 montre un extrait du modèle de simulation. Quelles sont ces différentes fonctions ?

- **Division des commandes trop volumineuses**

Il arrive que les clients envoient des commandes trop volumineuses à leur MTS. Cela veut dire que le produit « Volume de la pièce » x « Nombre de pièces » donne une valeur qui dépasse la capacité théorique en volume par passage des bains qui a été estimée à  $300\,000\text{ cm}^3$ . Cependant, en pratique les opérateurs ont la liberté de placer un volume plus ou moins important dans le lot tant que le volume total ne dépasse pas  $450\,000\text{ cm}^3$ . Les lots sont donc formés de manière arbitraire, mais les opérateurs essaient toujours de former des lots de taille similaire. Ainsi, le modèle de simulation prévoit de questionner chaque entité et suivant la réponse d'aiguiller la commande vers une étape de division de la commande par lot. Cette étape consiste simplement en une assignation



d'informations différentes concernant la durée de bain. En effet, puisqu'il faut diviser la commande en plusieurs lots, il faudra réitérer le bain autant de fois qu'il y a de lot. Cela augmente donc le travail de traitement par bain. Le temps total d'accrochage/décrochage reste inchangé puisque la division des lots divise aussi la durée de ces activités naturellement. Le modèle de simulation ne change pas l'ordre dans lequel ces opérations sont effectuées comme c'est le cas dans la réalité : les lots sont traités les uns après les autres sans insérer d'autres lots entre eux, c'est bien ce qui est décrit dans la cartographie en ANNEXE A.

- **Assignment des niveaux de priorité**

Dès que les entités sont créées, on attribue un niveau de priorité égal à un par défaut à toutes ces entités. Avant qu'elles soient transformées, certaines entités se voient attribuer un niveau de priorité augmenté. Ce sont les commandes dont les clients appellent pour augmenter leur niveau de priorité. Un triage est effectué grâce à un module de décision. La première augmentation consiste à l'assignation d'une unité supplémentaire au niveau de priorité de ces entités. Une deuxième augmentation du niveau de priorité s'effectue avant le processus manufacturier correspondant au masquage. De la même manière, un triage est fait entre les entités concernées ou pas par le changement de niveau de priorité. Cette fois-ci, l'assignation des nouvelles valeurs de niveau est soumise à une loi de probabilité aléatoire et discrète. La moitié des entités triées se voient assignées un niveau de priorité égal au précédent plus une unité. L'autre moitié se voit attribuer un niveau égal au précédent plus deux unités. Cela permet d'introduire de la variabilité dans les niveaux de priorité, ce que l'on constate évidemment dans la réalité : tous les clients n'obtiennent pas la même attention de la part du MTS en fonction de la pugnacité de leur comportement. Il se produit la même chose avant les modules processus correspondants aux activités de bain et de démasquage. En somme, ce paragraphe reprend la description de la gestion des priorités décrite en 4.2.2.2. Globalement, le plus souvent les clients contactent le MTS, le plus haut niveau de priorité ils obtiendront pour leurs commandes.

- **Exécution des opérations manufacturières**

Après l'assignation ou pas des nouveaux niveaux de priorité, les entités progressent vers des modules *process* qui permettent de simuler des opérations de transformation physique des entités. Il s'agit dans notre modèle de simulation de processus dont l'action est appelée « *seize-delay-release* » qui consiste à mobiliser une ressource (*seize*) pendant un certain temps bien défini (*delay*)



puis à libérer cette ressource (*release*) en même temps que l'entité. Ainsi, des ressources ont été définies pour chacun des types d'opérations réalisées, c'est-à-dire le masquage/démasquage et les traitements par bain. Il est important de remarquer que les ressources utilisées pour le masquage et démasquage sont uniquement des ressources humaines dans notre modèle de simulation, car nous considérons que le matériel peut être utilisé sans limites, autrement dit le matériel n'est jamais un facteur limitant la progression du processus global. De plus, les ressources utiles au masquage sont les mêmes que pour le démasquage. Ainsi, lorsque l'équipe d'opérateurs qui constitue la ressource est mobilisée pour une opération de masquage, elle n'est pas en mesure d'effectuer une opération de démasquage puisque le module *process* « Démasquage » mobilise la même ressource. Il est de même pour les opérations d'accrochage et décrochage pour les bains. Aussi, une seule ressource est existante pour l'ensemble des bains ce qui traduit le fait que les équipes d'opérateurs sont dédiées à des tâches bien précises. Pour ce qui est du type de délai d'attente, c'est une expression qui est constituée de l'attribut « Durée effective de masquage, démasquage ou de bain ».

La gestion des priorités s'effectue différemment suivant que l'opération est du masquage/démasquage ou des bains. Pour le masquage/démasquage, le module « *process* » « Masquage » / « Démasquage » constitue des files d'attente dont il est possible de définir les critères de sélection des entités en attente de traitement. Le critère utilisé pour ces deux opérations est celui de la plus haute valeur d'un attribut donnée, en l'occurrence l'attribut « Niveau de priorité ». Pour les opérations de bain, c'est un peu différent : avant de constituer des files d'attente pures qui ne sont pas des modules « *process* », mais des modules « queue », les entités sont triées grâce à un module de décision suivant le type de bain concerné. Ensuite, les entités sont acheminées vers les files d'attente pures. Ces files d'attente suivent la même règle de fonctionnement que les modules « Masquage » et « Démasquage ». Comme ce sont des files d'attente pures, on peut rajouter une condition sur la libération des entités, ici on attend que les bains soient libérés pour pouvoir faire circuler une nouvelle entité.

Il est intéressant de préciser que les entités sont aiguillées d'une manière particulière pour les opérations de bain. On rappelle que pour chaque type de bain, on a dans notre modèle trois bacs à bain. Un module de décision adresse les entités vers le bac à bain libre, car lorsque l'entité est libérée de la file d'attente, elle ne peut progresser vers le bon bac à bain de manière indépendante. Ainsi, on a neuf bacs à bain comme on l'a précisé dans la description du modèle au chapitre 4. Chaque opération de bain nécessite un accrochage, un trempage et un décrochage. On rappelle



aussi qu'une entité ne peut pas être libérée tant qu'aucun de ces bacs n'est utilisé, c'est-à-dire tant que l'ensemble de ces trois étapes n'est pas réalisé. Les trois étapes citées sont par ailleurs modélisées par des modules « *process* » « *seize-delay-release* ». Les étapes d'accrochage/décrochage nécessitent la mobilisation de deux ressources différentes : les opérateurs de bain et un bac à bain. L'étape de trempage ne requiert que le bac, donc qu'une seule ressource.

- **Suivi des entités**

Les entités créées évoluent à travers le modèle de simulation qui compte 5 compartiments correspondants aux 5 étapes du processus modélisé : Arrivée – Masquage – Bains – Démasquage – Livraison. Bien sûr toutes les entités ne sont pas concernées par tous les compartiments, il faut donc guider les entités en fonction de la famille de produits à laquelle elles appartiennent et en fonction de leur état d'avancement. C'est la raison d'être des attributs « Accomplissement », ils sont des indicateurs de la progression des entités. Ainsi, après chaque opération de masquage/démasquage et bain, les attributs de suivi sont mis à jour. De plus, au début de chaque compartiment opératif, un module de décision trie les entités en fonction de leur attribut de suivi. Cela permet d'éviter que les entités ne circulent indéfiniment dans les compartiments ou bien qu'une opération ne soit pas réalisée. Les attributs de suivi ne sont pas les seuls à être mis à jour, il y a aussi les attributs « Durée effective » qui le sont puisque, par exemple, lorsque le premier bain d'une entité a été réalisé, il est nécessaire de changer la « Durée effective de bain » et de lui assigner la valeur correspondant au deuxième bain.

- **Génération et suivi des commandes PCC**

Les commandes PCC sont générées suivant le temps entre 2 commandes spécifiées par le système de suivi des commandes. Les commandes classiques qui correspondent aux mêmes familles de produit impliquées dans la réservation sont éliminées. Après la création des commandes PCC, le modèle de simulation leur attribue tous les paramètres décrits précédemment, et de la même manière que pour les commandes classiques. Pour ce qui est du suivi des commandes PCC, une variable est associée à chaque famille de produit impliquée dans la réservation. Cette variable se voit attribuer la valeur cumulée des volumes (TO-BE 1) ou des nombres d'heures de bain (TO-BE 2). Cette variable sert au calcul de l'écart relatif au volume ou au nombre d'heures de bain sur lequel le client s'est engagé. Une horloge est implémentée pour assurer le contrôle périodique des volumes ou du nombre d'heures de bain effectif. Des blocs « *Assign* » assurent l'actualisation des variables de



contrôle ainsi que les écarts relatifs qui servent à calculer les temps entre 2 commandes. Ce temps entre 2 commandes détermine la fréquence d'arrivée des commandes PCC.



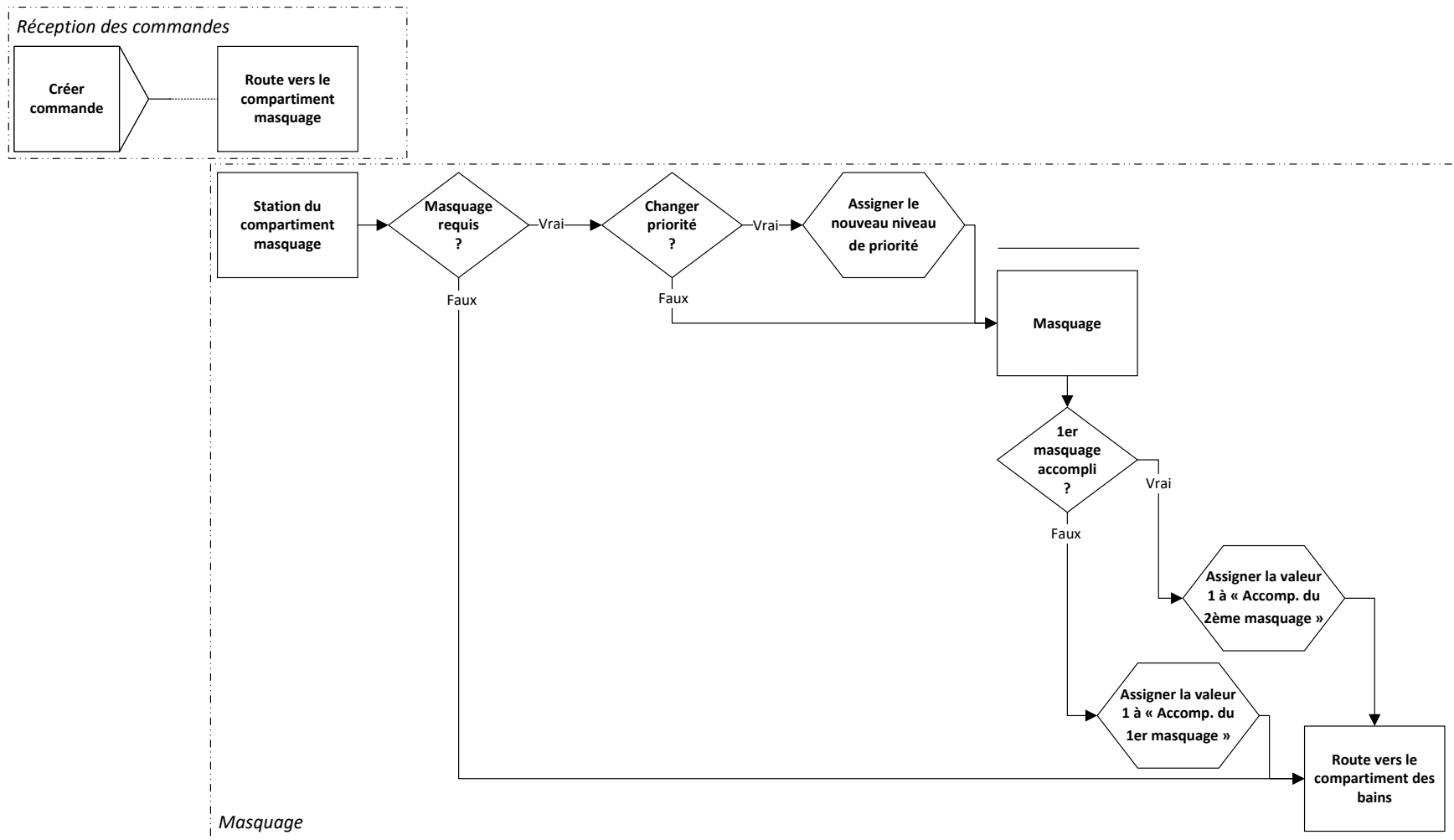


Figure 6.2: Extrait du modèle de simulation : Réception et masquage



### 6.4.3 Définition des paramètres expérimentaux

Le paramétrage expérimental a un impact important sur les résultats et sur les analyses que l'on peut en avoir. Il faut tout d'abord fixer une longueur de réplication qui correspond à la période de simulation. Dans notre cas, on préfère utiliser la journée comme unité de temps. Le nombre de commandes étant très important à la semaine ou mois, il est pertinent d'avoir la journée comme base de temps. A contrario, l'heure est une base de temps pas assez étendue, car en une seule heure d'ouverture du système de production nous n'aurons aucune arrivée de commande. Nous définissons aussi l'ouverture du système de production : nous considérons deux roulements d'équipes de travail de 8h chacune (2 x 8h). De plus, nous considérons qu'il y a 22 jours ouvrés par mois et naturellement 12 mois ouverts par an. Ainsi, nous pouvons définir la longueur de la réplication. Nous voulons observer le fonctionnement d'un système de production dans un secteur qui est très cyclique et qui fait intervenir des phénomènes de saisonnalité. Ainsi, il est pertinent d'observer une année complète ce qui donne :  $12 \text{ mois} \times 22 \text{ jours} = 264 \text{ jours}$ . Il est parfois pertinent de considérer une période de montée en charge qui correspond à une phase initiale de la simulation pendant laquelle le système adopte un comportement transitoire et les données ne sont pas collectées en sortie. Pendant cette période, les files d'attente sont vides, les opérations de masquage et de bain ne sont pas des goulots d'étranglement. Cette période de montée en charge peut être déterminée en analysant l'évolution de certains indicateurs au cours des réplications. C'est ce que nous avons fait pour 100 réplications en observant l'inactivité des opérateurs responsables des bacs à bains :



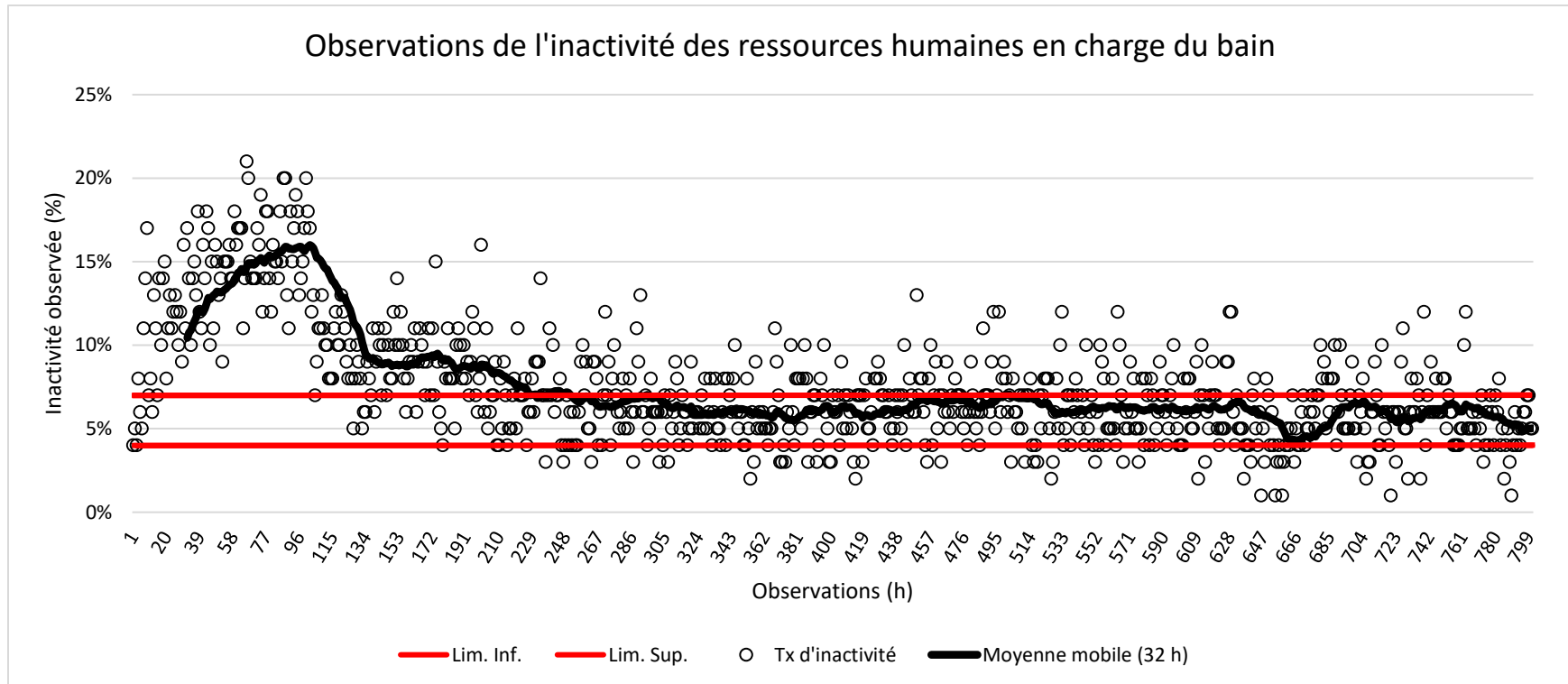


Figure 6.3: Représentation de l'inactivité pour les activités du bain



Le graphe de la figure 6.3 représente un nuage où chacun de ces points représente le pourcentage de réplifications pour lesquelles les ressources responsables des bains étaient inactives à une heure donnée. Comme on le voit sur le graphique, les premières 800 heures de chaque réplification ont été observées, ce qui correspond à un peu plus de 2 mois. Une observation a été réalisée chaque heure, il y a donc 800 points sur le graphique. Ces observations équivalent à un contrôle de l'utilisation des ressources humaines sur le plancher de production. Ce sont donc des observations discrètes, et en aucun cas une représentation continue de l'utilisation des ressources en fonction du temps. Cependant, comme le temps entre deux commandes et le temps de préparation des bains sont en moyenne supérieurs à 1h, on peut considérer que lorsque l'équipe est inactive au moment de l'observation, elle le restera globalement l'heure durant. Ainsi, lorsque les ressources restent inemployées pendant un certain temps, la probabilité que l'observation rende compte d'un état inactif augmente. Inversement, si les ressources sont longuement sollicitées, la probabilité d'observer un état actif augmente. Par exemple, si l'observation faite à la 80<sup>ème</sup> heure correspond à 20% d'inactivité, cela veut dire que pour 20 réplifications sur 100, on a observé une inactivité des équipes responsables des bains. Ainsi, la période de montée de la charge de travail doit faire apparaître un plus haut pourcentage d'observation d'inactivité. C'est bien ce que l'on observe sur le graphe entre 1 et 250 heures environ. Au-delà de 250h on observe que de petites variations qui correspondent à la volatilité de la demande caractéristique des MTS, la courbe de la moyenne mobile reste entre les bornes inférieures et supérieures. Ainsi, nous considérons que 350h (environ 1 mois) constitue une période de montée en charge suffisamment longue pour que les indicateurs de performance ne soient pas biaisés par les performances de notre système productif à vide.

Le bain constitue l'activité première des MTS, mais nous avons voulu observer l'inactivité des ressources responsables du masquage/démasquage suivant le même principe que précédemment :



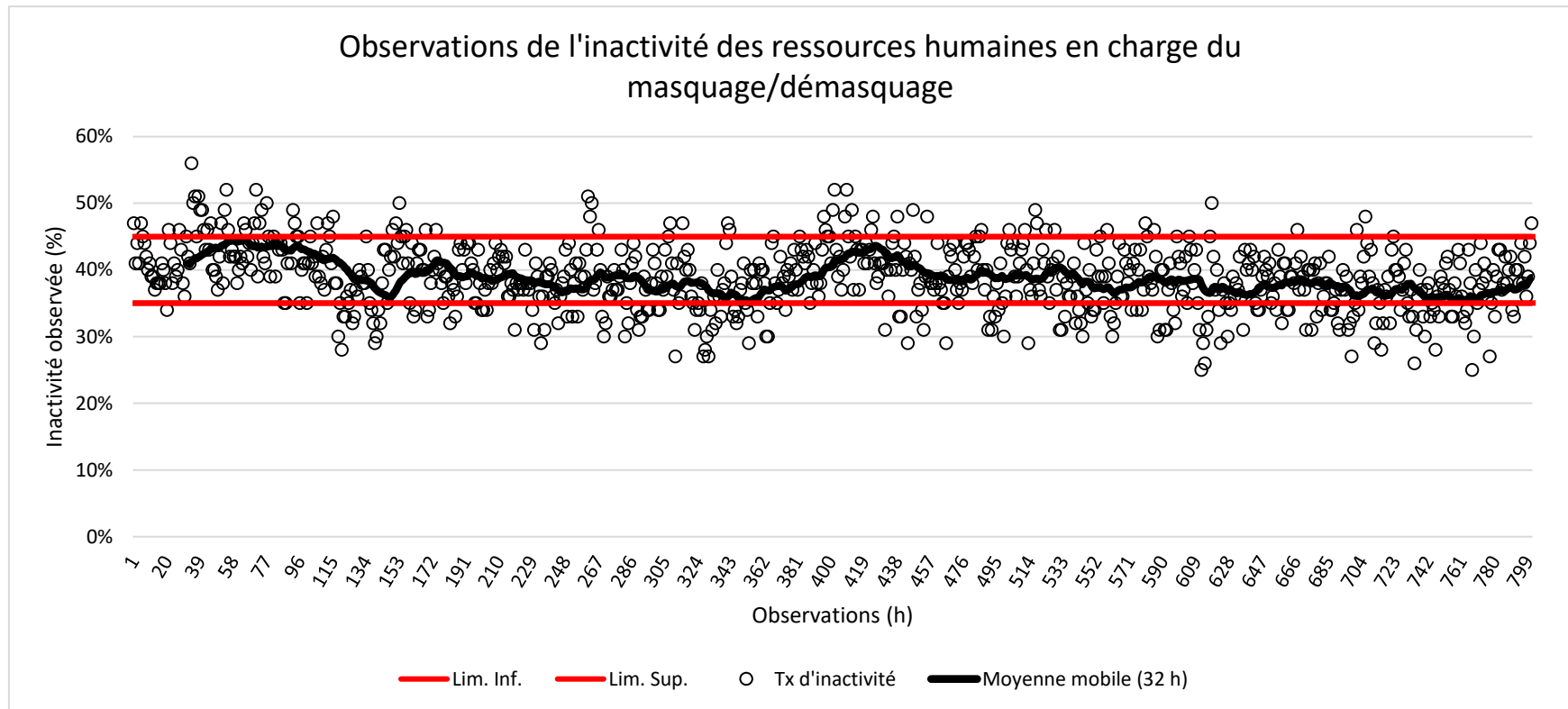


Figure 6.4: Représentation de l'inactivité pour les activités de masquage/démasquage



Le graphe de la figure 6.4 montre que l'utilisation des ressources mises à disposition pour les opérations de masquage et démasquage est plus stable, surtout au début pendant la montée en charge. Cela s'explique par le fait que les opérateurs de masquage sont aussi responsables du démasquage. Ainsi, entre deux arrivées de commandes, ils peuvent être amenés à faire du démasquage en sortie de bain. Les taux d'inactivité pour le masquage/démasquage restent cependant plus haut qu'avec le bain puisque toutes les commandes ne sont pas concernées par ces opérations contrairement au bain. Ainsi, la durée de 350h pour la montée en charge n'est pas contredite par cet indicateur.

Enfin, le dernier paramètre de simulation que nous avons besoin de spécifier est le nombre de réplifications nécessaires. En effet, le nombre de réplifications a un impact sur la convergence des indicateurs de performance. Ces réplifications doivent bien sûr prendre en compte la montée en charge identifiée précédemment. Nous considérons que 100 réplifications peuvent suffire à obtenir cette convergence des valeurs moyennes de l'ensemble des indicateurs de performance. C'est ce que nous démontrons dans ce paragraphe. Un nombre de réplifications est suffisamment grand lorsqu'on observe une convergence des valeurs moyennes des indicateurs de performance. C'est l'objet des graphes suivants portant sur toutes les commandes confondues :

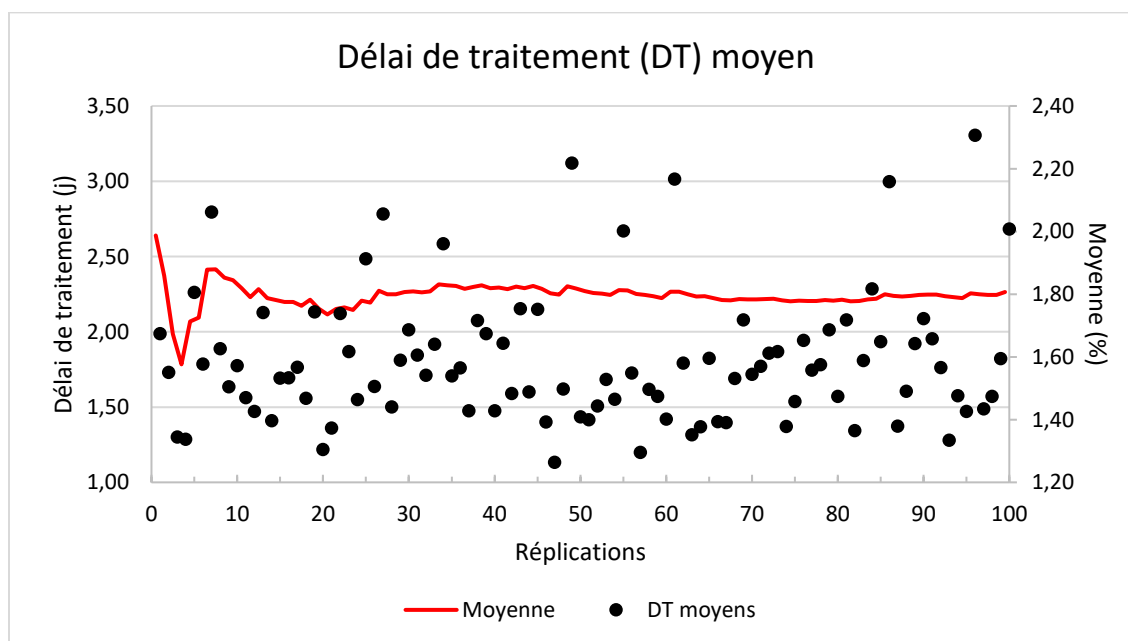


Figure 6.5: Délai de traitement moyen en fonction du nombre de réplifications



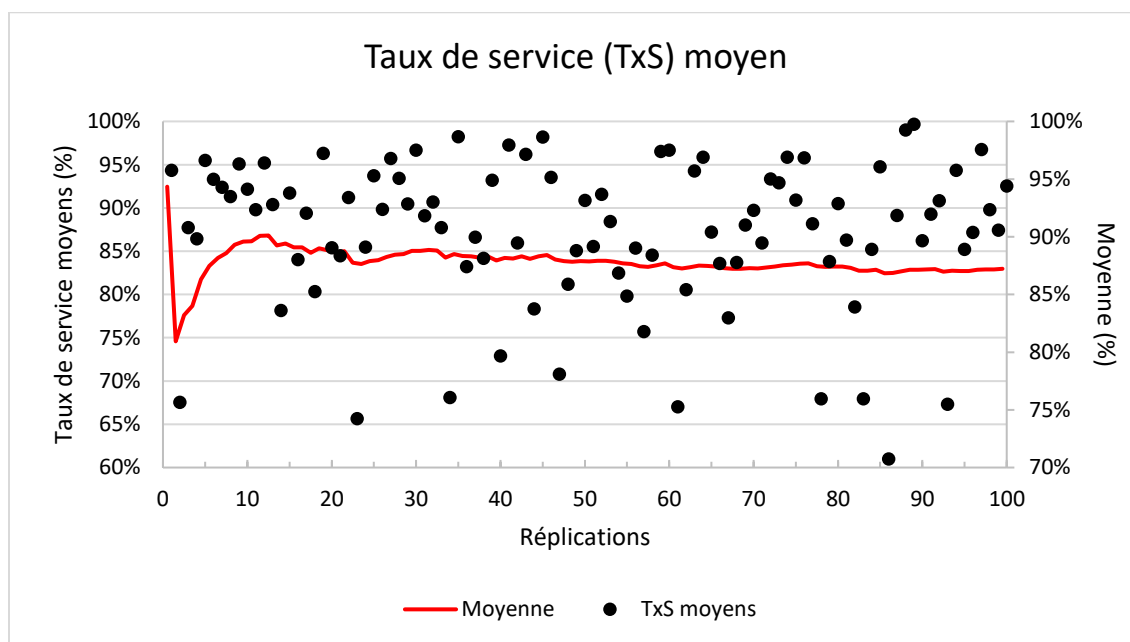


Figure 6.6: Taux de service moyen en fonction du nombre de répliques

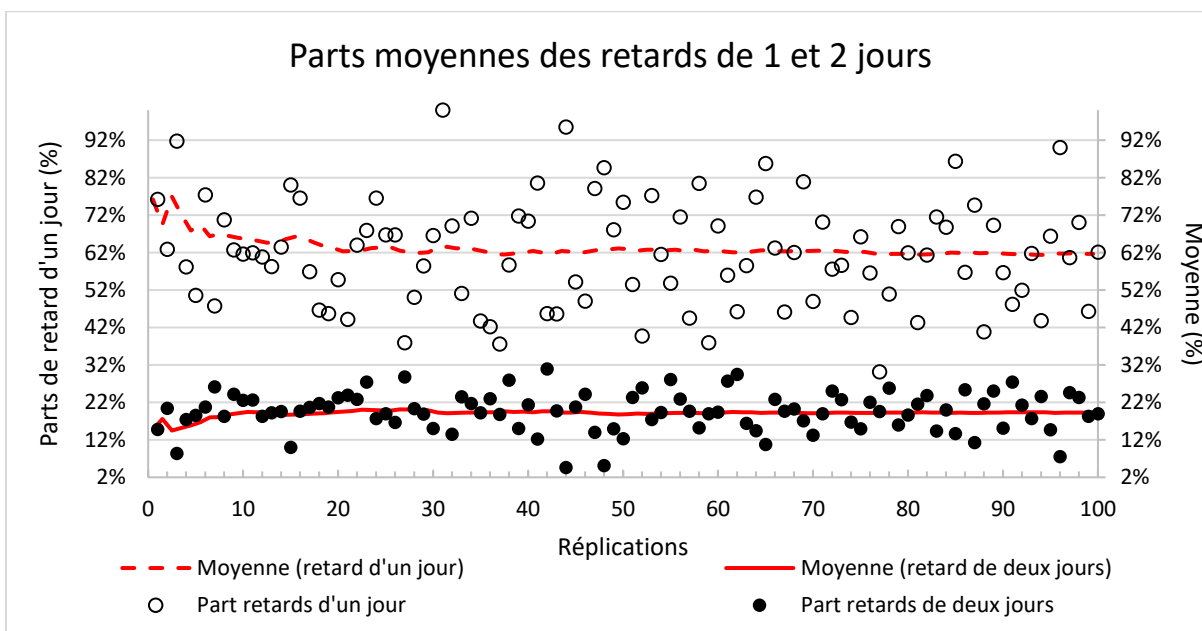


Figure 6.7: Parts moyennes des retards de 1 et 2 jours en fonction du nombre de répliques



Les trois graphes précédents montrent que le nombre de 100 répliques est suffisamment grand pour que les valeurs moyennes des indicateurs de performances convergent. Les graphes montrant les résultats relatifs aux commandes urgentes et non urgentes individuellement apparaissent dans l'ANNEXE B.

#### 6.4.4 Validation du modèle ARENA

Cette validation se fait progressivement en fixant une valeur pour un paramètre puis en modifiant les valeurs des autres paramètres. En observant les résultats de la simulation qui sont présentés en section 6.5.2, on peut arriver à fixer les valeurs des paramètres les unes après les autres. L'objectif est d'obtenir des indicateurs de performances proches des valeurs de références décrites en section 6.2.

Une autre fonction implémentée porte sur la composition du flux de produit. On a mentionné dans le chapitre 4 les différentes familles de produits et leur taille dans le flux total de la production. Le tableau suivant rapporte les écarts de nos expériences avec le modèle décrit :

Tableau 6.6: Écarts en part théoriques et parts réelles des familles de produits dans le flux total

Client	Parts théoriques (collecte de données)	Résultats de simulation	Écart
1	8%	8,01%	-0,01%
2	8%	8,07%	-0,07%
3	9%	8,92%	0,08%
4	15%	15,21%	-0,21%
5	15%	15,07%	-0,07%
6	15%	14,89%	0,11%
7	6%	5,98%	0,02%
8	6%	5,94%	0,06%
9	6%	6,00%	0,00%
10	4%	3,90%	0,10%
11	4%	3,98%	0,02%
12	4%	4,01%	-0,01%
Total	100%	100%	



La validation du modèle est aussi basée sur les indicateurs de performance identifiés dans la section 6.2 :

Tableau 6.7: Indicateurs de performances du modèle AS-IS

Indicateurs	Niveaux		
	Référence	Modèle AS-IS	
Délai de traitement	environ 2 jours	Commandes urgentes	1,4
		Commandes non urgentes	2,4
		<b>Commandes confondues</b>	<b>1,8</b>
Taux de service	95%	Commandes urgentes	97,1%
		Commandes non urgentes	79,2%
		<b>Commandes confondues</b>	<b>89,5%</b>
Retards inférieurs ou égaux à 2 jours	La plupart des commandes	Commandes urgentes	92,0%
		Commandes non urgentes	77,4%
		<b>Commandes confondues</b>	<b>81,1%</b>
Taux d'utilisation des ressources machines	environ 30%	<b>30,3%</b>	
Taux d'utilisation des ressources humaines	75 à 80%	Masquage et démasquage	61,7%
		Bains	93,4%
		<b>Moyenne</b>	<b>77,6%</b>

On constate que globalement le modèle AS-IS respecte très bien les niveaux de référence issus de l'expertise. Notamment le taux de service : le tableau 6.11 montre que les écarts par rapport à la référence (95%) sont tous inférieurs à 10%. Il est cependant intéressant de regarder la distribution et les valeurs du retard plus en détail :



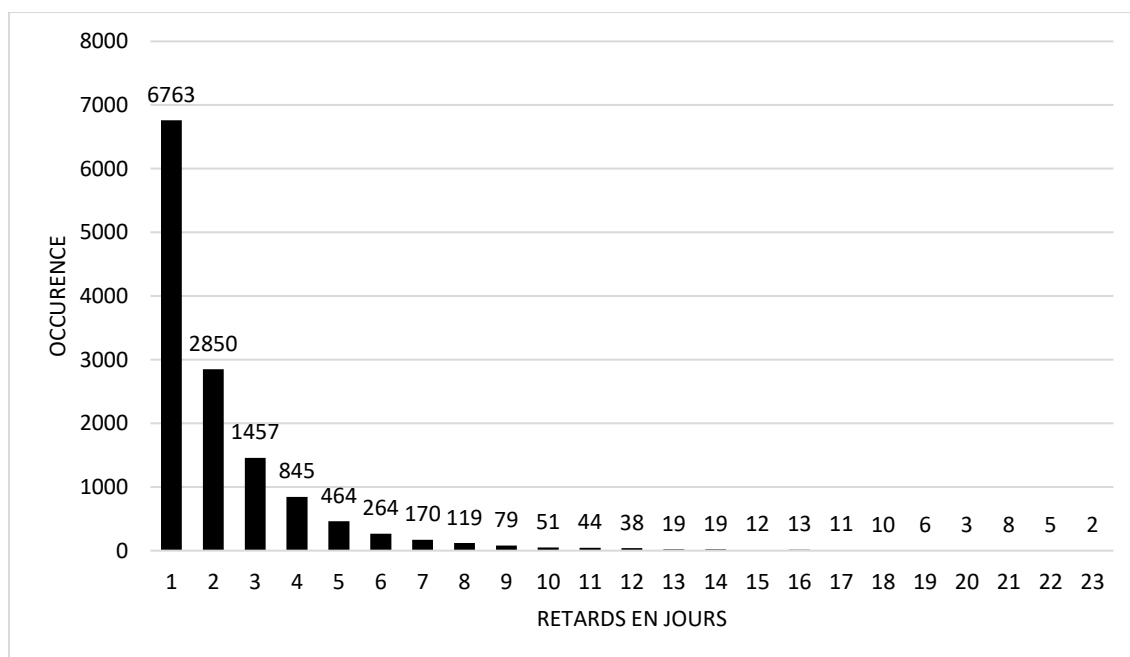


Figure 6.8: Occurrence des retards pour les commandes non urgentes

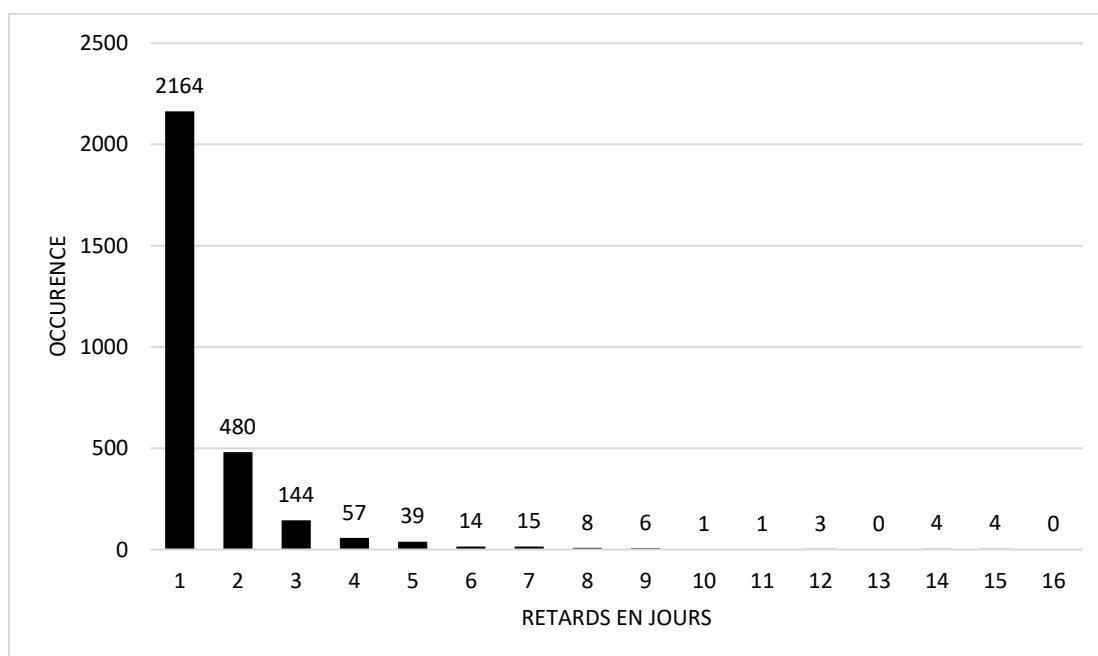


Figure 6.9: Occurrence des retards pour les commandes urgentes



Ces deux graphes nous permettent de mieux visualiser les distributions du retard avec précision, car le tableau 6.6 ne donnait qu'un aperçu des retards inférieurs ou égaux à deux jours sans information sur les retards supérieurs à deux jours. On peut alors s'assurer que les occurrences (nombre de commandes en retard) décroissent très rapidement en fonction de la valeur des retards ce qui permet de faire ressortir plus facilement la prépondérance des retards d'un ou deux jours. Les retards dont la valeur est supérieure à deux jours représentent l'erreur (18,9% des commandes sont en retard de plus de 2 jours) du modèle au niveau de la génération des retards. On peut ainsi affirmer que notre modèle est très représentatif de la réalité au vu de la rareté des commandes très en retard. La condition de validation était : la plupart des commandes sont retardées de moins de 2 jours. Avec 18,9% de commandes en retard de plus de 2 jours, la condition est validée. Autre remarque allant dans ce sens : les retards importants sont encore plus rares avec les commandes urgentes, c'est ce que l'on cherchait à reproduire dans notre modèle. Comme on peut avoir à faire à plusieurs cas de figure au niveau du nombre de clients qui appellent pour augmenter leur niveau de priorité, nous avons réalisé des expériences en considérant différents niveaux de demande par rapport à ces clients spécifiques. Dans les graphes et tableaux suivants, on fait intervenir la notion de niveau d'appel. Le niveau d'appel correspond à la part de commande (nombre de clients) dont le niveau de priorité change. Ainsi, le niveau d'appel est lié à la part de ce type de commande que nous appelons commande urgente. Lorsqu'un client appelle, il souhaite voir sa commande traitée avant celle des autres, c'est pourquoi elle devient urgente.



Tableau 6.8: Indicateurs de performances du modèle AS-IS en fonction de la part de commandes urgentes

Listes des clients qui appellent	Niveau d'appel	AS-IS - Délai de traitement (j)			AS-IS - Taux de service (%)		
		toutes les commandes	commandes urgentes	commandes non urgentes	toutes les commandes	commandes urgentes	commandes non urgentes
1	8%	1,8	1,0	1,9	86,7%	99,7%	85,6%
1, 2	16%	1,8	1,0	1,9	87,3%	99,7%	85,0%
1, 2 et 5	31%	1,8	1,1	2,2	87,1%	98,4%	82,0%
1, 2, 5 et 6	46%	1,8	1,2	2,4	88,4%	98,2%	80,0%
1, 2, 5, 6 et 7	52%	1,8	1,3	2,4	88,5%	97,7%	78,5%
1, 2, 5, 6, 7 et 9	58%	1,8	1,4	2,4	89,5%	97,1%	79,2%
1, 2, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	66%	1,8	1,5	2,3	89,5%	94,0%	80,8%
1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	75%	1,8	1,6	2,5	88,5%	91,8%	78,4%
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	90%	1,7	1,6	2,7	91,1%	92,5%	78,6%
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 12	96%	1,7	1,6	3,4	91,7%	92,4%	75,2%
Listes des clients qui appellent	Niveau d'appel	AS-IS - Retard moyen (j)			AS-IS - Retard supérieur à 2 jours		
		toutes les commandes	commandes urgentes	commandes non urgentes	toutes les commandes	commandes urgentes	commandes non urgentes
1	8%	1,4	1,0	1,4	8,9%	0,0%	9,7%
1, 2	16%	1,4	1,0	1,5	9,2%	0,0%	10,9%
1, 2 et 5	31%	1,5	1,0	1,7	10,8%	0,4%	15,4%
1, 2, 5 et 6	46%	1,5	1,0	1,9	9,6%	0,2%	17,7%
1, 2, 5, 6 et 7	52%	1,5	1,0	2,0	9,9%	0,3%	20,2%
1, 2, 5, 6, 7 et 9	58%	1,6	1,1	2,2	10,6%	2,0%	22,6%
1, 2, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	66%	1,6	1,2	2,4	11,4%	3,9%	26,0%
1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	75%	1,9	1,7	2,3	16,0%	13,0%	24,9%
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	90%	1,7	1,7	2,0	14,2%	13,0%	25,1%
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 12	96%	1,7	1,7	3,1	13,7%	12,8%	34,2%



Le tableau 6.7 s'interprète mieux avec les deux graphiques suivants :

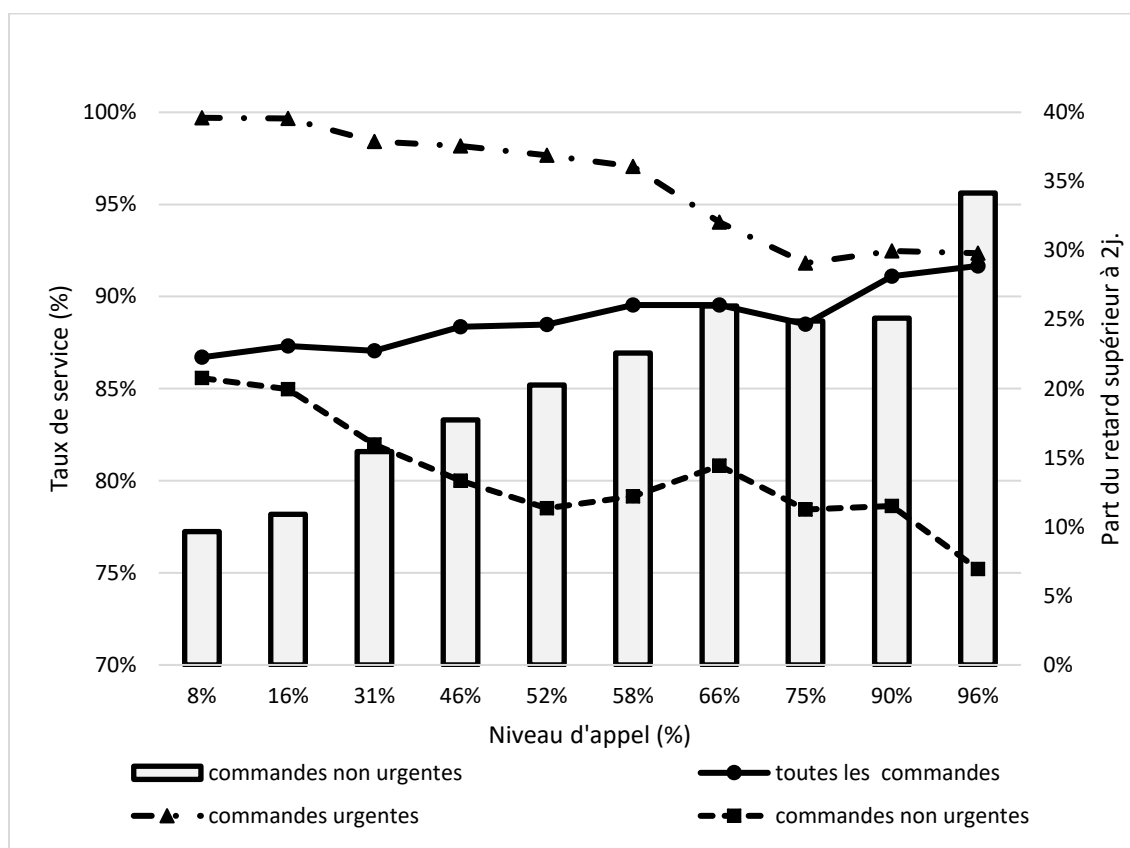


Figure 6.10: Taux de service moyen en fonction de la part de commandes urgentes

Les performances des commandes urgentes chutent en fonction du niveau d'appel ce qui est cohérent puisque la part de commande prioritaire augmente, ce qui a pour effet d'augmenter les files d'attente des commandes prioritaires. Cela traduit le fait que si l'ensemble des commandes est prioritaire, il n'y a alors plus de priorité en pratique. De même, les commandes non urgentes voient leurs performances réduites en fonction du niveau d'appel, car ces commandes doivent attendre de plus en plus longtemps leur tour avant d'être traitées. Enfin, la part de commande en retard de moins de 2 jours augmente avec le niveau d'appel, ce qui est compréhensible aussi puisque les performances des deux types de commandes se dégradent. On remarque aussi que le taux de service global augmente. Cela s'explique par le fait que la part de commande urgente, celle qui fait l'objet d'un changement de niveau de priorité, voit sa part dans le flux total augmenter.



Le graphe de la figure 6.11 nous montre la même chose pour le délai de traitement ce qui corrobore nos analyses de la figure 6.10.

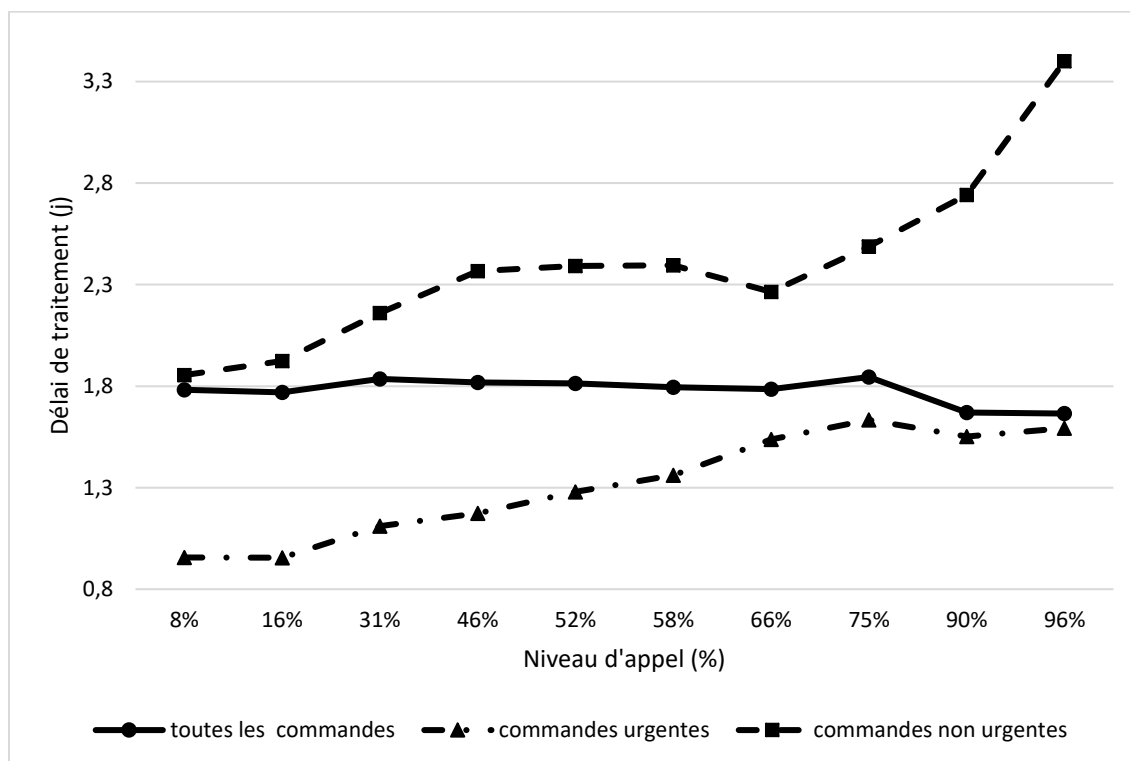


Figure 6.11: Délai de traitement moyen en fonction de la part de commandes urgentes

## 6.5 Conclusion

Pour conclure, le modèle du processus actuel AS-IS a bien été transposé dans le langage de simulation ARENA. On peut dire au vu des résultats que le modèle de simulation du processus actuel AS-IS ne diffère pas du modèle conceptuel basé sur des comportements et des tendances observés. La prochaine étape consiste à exécuter les expériences planifiées pour le nouveau processus. L'analyse de leur résultat fait l'objet du prochain chapitre 7.



## CHAPITRE 7 ANALYSE DES RÉSULTATS

### 7.1 Introduction

Le modèle AS-IS ayant été validé en comparant ses performances avec celles de référence, il s'agit ensuite de confronter les performances du modèle proposé à celles du processus actuel. Les avantages et les inconvénients sont présentés dans la dernière section de ce chapitre dédiée à la discussion.

Le plan d'expérience prévoit une analyse du modèle proposé selon une demande stable, variable et selon différents niveaux de réservation de la capacité. Ainsi, l'analyse des résultats comprend trois sections abordant ces trois aspects successivement.

### 7.2 Résultats selon une demande stable

Le scénario d'une demande stable est le premier envisagé par le plan d'expérience. Il est nécessaire d'analyser le comportement du modèle proposé dans cette situation afin de savoir s'il apporte ou non une contribution ou pas aux problèmes posés.

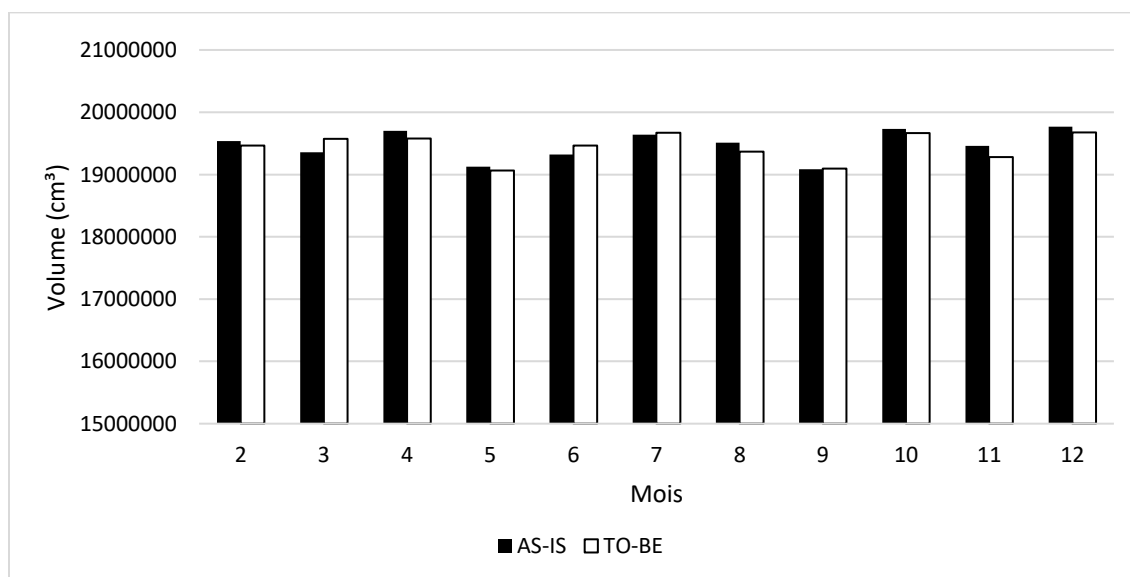


Figure 7.1: Volume des commandes reçues chaque mois lorsque la demande est stable



Le graphe de la figure 7.1 nous donne une bonne représentation de la demande mensuelle de la clientèle, on voit que les variations d'un mois à l'autre sont relativement faibles, le tableau 7.1 donne les valeurs numériques des écarts types entre les 11 mois observés de l'horizon de simulation. Avec le modèle proposé, l'écart type n'est pas réduit de manière significative (réduction inférieure à 10%) ce qui se conçoit bien, car l'écart type pour le modèle AS-IS n'est pas très important. Ainsi, les corrections sur le volume apporté par l'implémentation du modèle proposé n'apportent pas grand-chose en termes de volume commandé. On remarque aussi que les moyennes sont proches (écart inférieur à 1%), ce qui montre qu'avec le modèle AS-IS ou celui proposé, les volumes des commandes passées sont le même. Cette équivalence donne de la crédibilité à la comparaison que nous faisons entre les deux modèles. En effet, si le volume reçu moyen est le même d'un modèle à l'autre cela veut dire que la demande générée est globalement la même. Si elle avait été différente, l'analyse des performances aurait d'autant moins de pertinence que la différence aurait été importante. On remarque enfin que les volumes reçus ne sont pas les mêmes d'un modèle à l'autre alors que la demande est stable. La demande est stable de manière globale, mais d'une réplcation à une autre, les volumes reçus peuvent varier pour un même mois considéré en raison de la variabilité du volume moyen des commandes.

Tableau 7.1: Écarts types et moyennes mensuels sur le volume reçu avec une demande stable

<b>Volume entré (cm³)</b>	<b>AS-IS</b>	<b>TO-BE</b>
Écart type	233446	220315
Moyenne	19476465	19445818

Si l'on s'intéresse aux indicateurs de performances, on se rend compte qu'avec une demande stable les indicateurs sont déjà très stables eux aussi naturellement comme on peut le voir sur le graphe de la figure 7.2. Même si on peut parler de stabilité, on n'obtient pas des tracés totalement rectilignes, car les files d'attente sont très mouvantes même lorsque la demande est globalement stable. En effet, on garde une grande variabilité dans les volumes des commandes et dans les temps opératoires. L'écart type sur les 11 observations mensuelles reste inférieur à 1% et ce pour tous les types de commandes, comme le montre le tableau 7.2. Naturellement, la supériorité des performances des commandes urgentes sur les commandes non urgentes s'observait pour un



horizon d'un an dans la section 6.4.4, elle s'observe aussi d'un mois à l'autre. C'est ce que l'on attendait vu qu'il n'y a pas de raison que des commandes prioritaires soient moins performantes que des commandes non prioritaires tout le long de l'année. Nous appelons commandes prioritaires les commandes qui suscitent des appels dans le modèle AS-IS (commandes urgentes) et les commandes issues des contrats de réservation (commandes PCC). « Prioritaire » est un terme unique pour nommer et comparer les deux types de commandes intervenant dans les deux différents modèles.

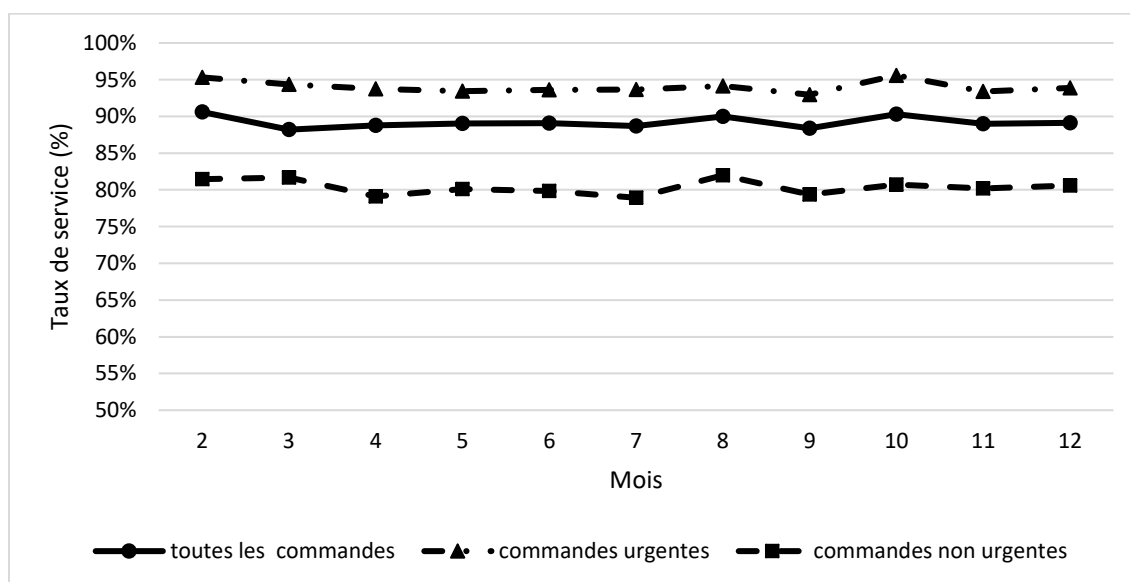


Figure 7.2: Taux de service avec une demande stable - Modèle AS-IS

On retrouve des résultats similaires pour le cas du modèle proposé, les taux de services sont stables d'un mois à l'autre, ce qui est cohérent vu qu'il n'y a pas de variation brutale d'un mois à un autre. Cette stabilité s'observe pour toutes les commandes comme le montre le graphe de la figure 7.3.



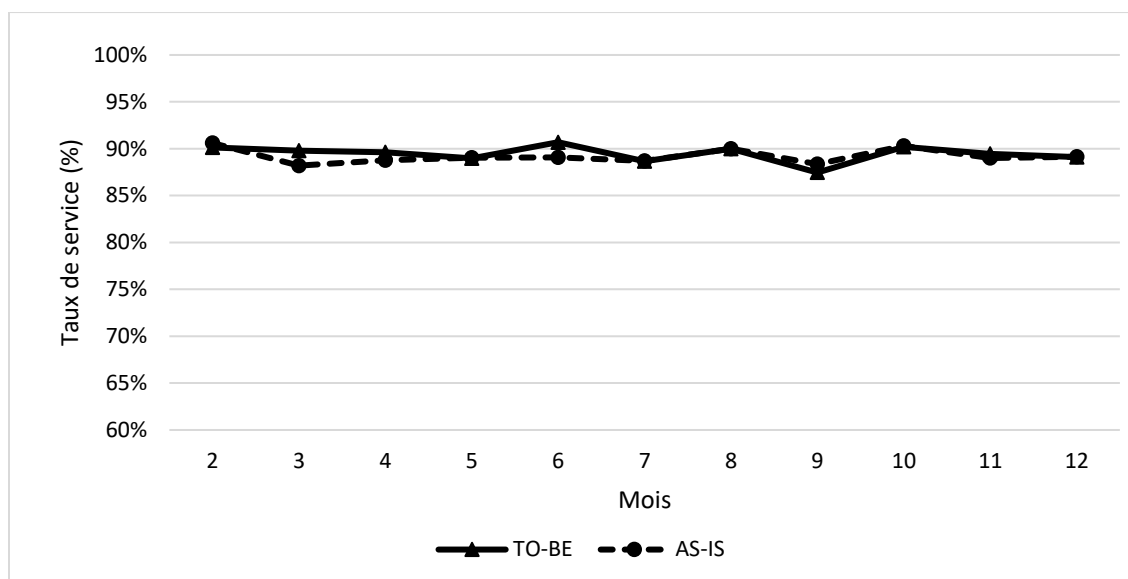


Figure 7.3: Taux de service avec une demande stable - Comparaison des modèles AS-IS et TO-BE

Ce graphe fait apparaître le taux de service de toutes les commandes confondues, mais on remarque la même chose si on analyse les commandes prioritaires et non prioritaires individuellement.

La stabilité observée avec le taux de service est aussi observée au niveau des autres indicateurs de performances utilisés pour l'analyse quantitative des modèles étudiés. Ainsi, le délai de traitement, le retard moyen et la part de commande avec un retard inférieur à 2 jours sont aussi stables d'un mois à l'autre. Cela est cohérent au vu de ce qui est observé lors de la validation du modèle AS-IS, les indicateurs de performances gardent les mêmes tendances (ou inverse). De la même manière, les valeurs observées avec le modèle AS-IS et celui proposé restent proches.

Tableau 7.2 : Écart types et moyennes des taux de service mensuels en fonction du type de commande avec une demande stable

Taux de service (%)	AS-IS			TO-BE		
	toutes les commandes	commandes urgentes	commandes non urgentes	toutes les commandes	commandes contrat	commandes classiques
Écart type	0,8%	0,8%	1,0%	0,9%	0,9%	1,4%
Moyenne	89,2%	94,0%	80,4%	89,5%	94,1%	80,5%



Un autre indicateur que l'on doit analyser est le nombre d'heures de bain. En effet, celui-ci est approprié pour analyser l'utilisation des ressources du MTS. Dans le cadre d'une réservation de sa capacité de production, le nombre d'heures de bains utilisées est primordial. Le graphe de la figure 7.4 nous montre là encore que le scénario de la demande stable implique un nombre d'heures de bain stable en fonction des mois écoulés. Cela veut dire que l'utilisation des ressources du MTS est stable aussi tout au long de l'horizon, c'est exactement ce à quoi on s'attendait. Avec le modèle TO-BE, on a observé précédemment de la stabilité au niveau du volume des commandes passées. On doit donc s'attendre à une utilisation stable des ressources et donc un nombre d'heures de bain relativement constant. C'est effectivement ce que l'on obtient sur le graphe de la figure 7.4 :

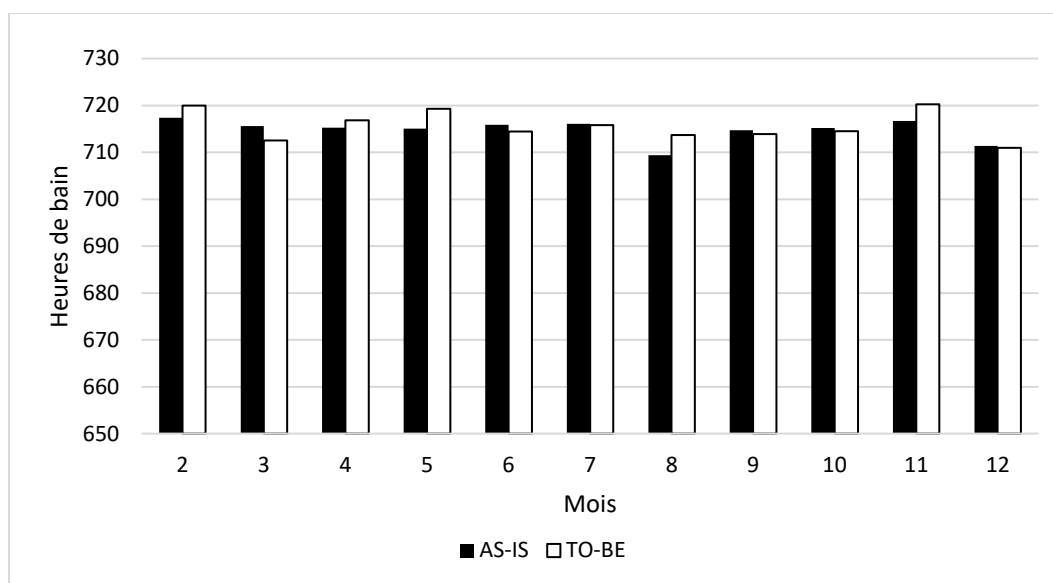


Figure 7.4 : Nombre d'heures de bain utilisées par mois avec une demande stable - Comparaison des modèles AS-IS et TO-BE

Le tableau 7.3 nous rend compte avec des valeurs de la constance dans l'utilisation des ressources de bain.



Tableau 7.3: Écart types et moyennes des heures de bains utilisées mensuellement en fonction du type de commande avec une demande stable

Heures de bain	AS-IS			TO-BE		
	toutes les commandes	commandes urgentes	commandes non urgentes	toutes les commandes	commandes contrat	commandes classiques
Écart type	2	2	2	3	3	3
Moyenne	715	475	240	716	476	240

On remarque des différences entre les moyennes AS-IS et TO-BE mais elles ne représentent que moins de 1% de la valeur totale du nombre d'heures de bains moyen mensuel à chaque fois. Ainsi, nous pouvons affirmer, comme pour le volume reçu, que le modèle proposé n'implique pas un changement au niveau de la capacité de production mensuelle de manière globale : la comparaison des deux modèles est donc pertinente.

### 7.3 Résultats selon une demande variable

On a vu qu'avec une demande stable, les ressources étaient utilisées de manière régulière, sans hausse ni baisse brutale d'utilisation. Cette stabilité dans la consommation des ressources se répercute par une stabilité au niveau des autres indicateurs de performances tel que le taux de service. On a vu aussi que cela était possible dans le cas de volumes de commandes passées stables au fil des mois. Ainsi, le processus actuel n'engendre pas de soubresaut au niveau de tous ces indicateurs et le processus proposé n'apporte pas d'amélioration et se révèle être équivalent. Cependant, l'objet de notre étude est de considérer le cas où la demande n'est pas stable, car c'est dans cette situation que les problèmes caractéristiques des MTS se fait le plus sentir. Ainsi, le graphe de la figure 7.5 montre le volume reçu chaque mois avec une demande dont la variation suit le scénario 1 présenté dans le plan d'expérience. Le graphe présente l'indicateur du volume reçu pour les deux modèles :



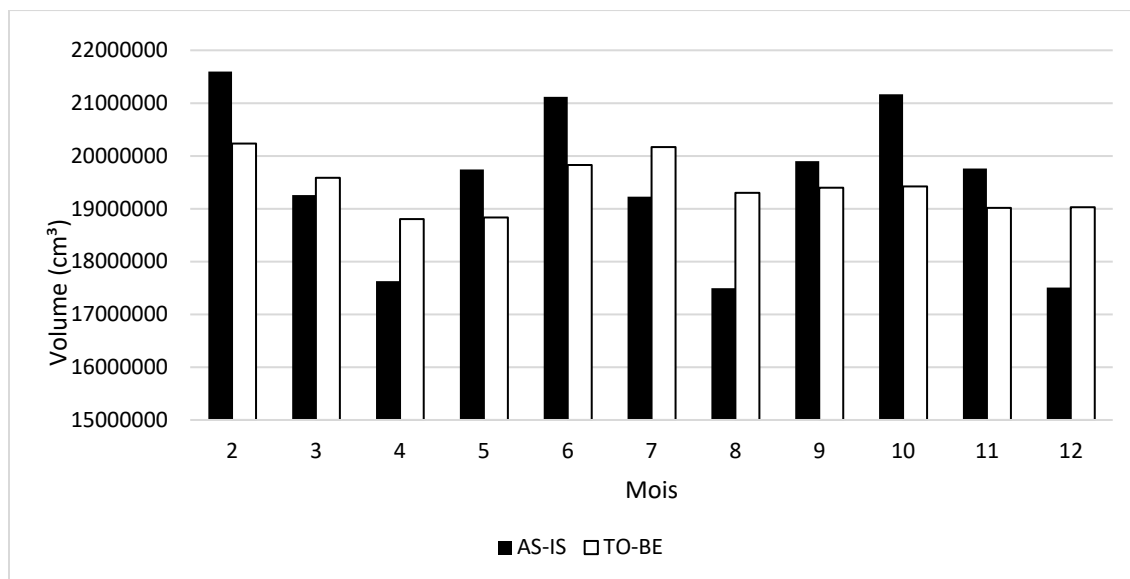


Figure 7.5: Volume reçu chaque mois lorsque la demande est variable

Cette fois-ci, le modèle AS-IS ne présente plus un volume reçu stable mois après mois. On observe des pics pour le 2<sup>ème</sup>, 6<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> mois qui correspondent exactement aux pics de valeur du coefficient K décrit dans le plan d'expérience, représentant la variation de la demande en termes de nombre de pièces ; et qui influe directement sur le volume des commandes. On aura la même remarque pour les minima observés. Avec le processus de base, la clientèle n'adapte pas son comportement et les volumes globaux suivent le cours de la variation de la demande. En revanche, les résultats du modèle proposé montrent une atténuation des pics et des creux, ce qui est cohérent puisqu'une partie de la clientèle adopte un comportement différent dans le cadre du contrat de réservation de la capacité. En effet, une partie des clients retardent certaines de leur commande afin de ne pas accabler le MTS, lors des pics de demande en particulier. C'est bien ce que l'on observe dans le graphe de la figure 7.6. Le volume reçu des clients s'étant engagés dans un contrat de réservation de capacité est très stable avec le modèle proposé. Avec le modèle AS-IS, les mêmes clients qui appellent plutôt que de réserver engendrent des variations conséquentes d'un mois à l'autre. L'écart type sur les volumes entrés mensuellement est bien plus important (différence de 65%) qu'avec le modèle TO-BE. Le fait d'imposer des limites mensuelles apporte une stabilité significative dans le passage des commandes en termes de volume.



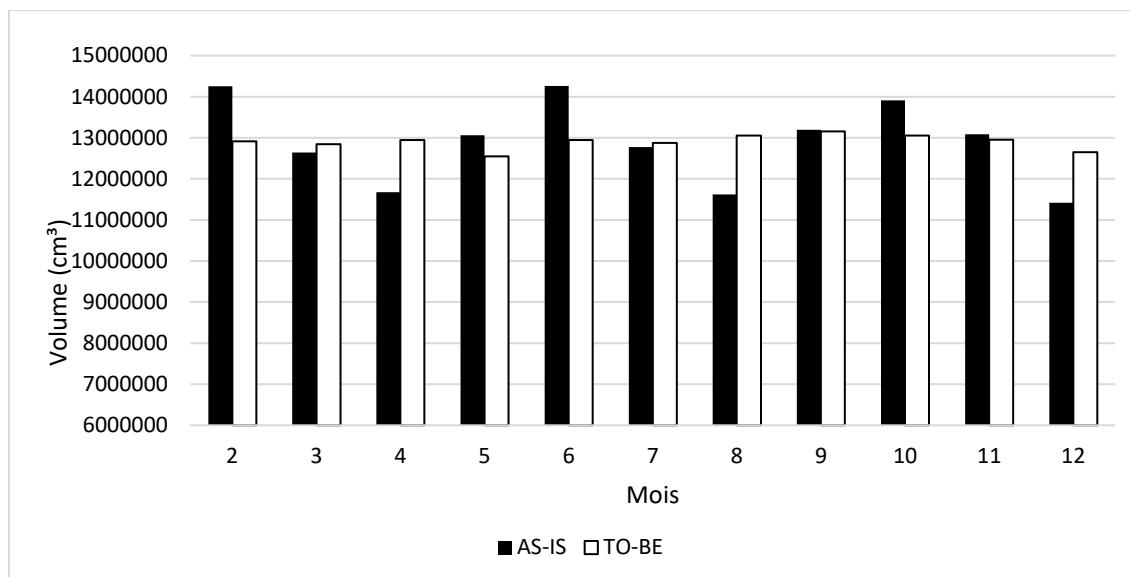


Figure 7.6: Volume reçu des commandes prioritaires avec une demande variable

C'est donc le comportement des clients engagés dans un contrat de réservation qui apporte l'amélioration que l'on constate de manière quantitative dans le tableau 7.4 :

Tableau 7.4: Écarts types et moyennes mensuelles sur le volume reçu avec une demande variable

Volume entré (cm³)	AS-IS	TO-BE
Écart type	1474198	496279
Moyenne	19493076	19419222

Là encore on constate une équivalence au niveau des moyennes, par contre les écarts-types sont très différents (réduction de 65% environ). L'application des contrats de réservation a donc un effet constatable sur le volume reçu chaque mois. Comme avec le scénario d'une demande stable, cela devrait avoir un impact sur les indicateurs de performances. Le graphe de la figure 7.8 nous donne un aperçu de l'évolution mensuelle de l'indicateur :



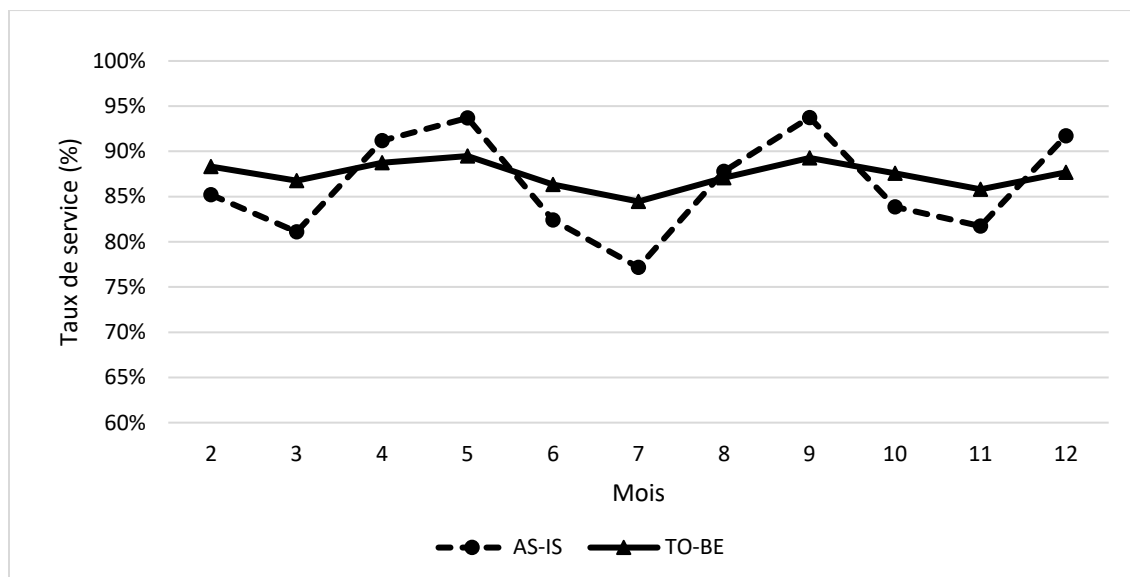


Figure 7.7: Taux de service avec une demande variable

Cette fois-ci le modèle AS-IS génère des performances très variables au cours des mois. On constate 3 pics et 3 creux qui correspondent aux maximas observés au niveau du volume reçu. En revanche, les mois où on observe ces maximas ne sont pas les mêmes suivant l'indicateur que l'on observe. Cela s'explique par le fait que les taux de service par exemple, sont fortement dépendants des files d'attente qui ne sont pas amplifiées immédiatement lorsque la demande augmente. Il y a un certain temps de montée en charge qui implique un décalage entre la hausse de la demande observée et la dégradation des performances. Même raisonnement pour les creux observés. Ainsi, le modèle AS-IS génère des variations fortes qui sont atténuées avec le modèle proposé. En effet, on observe un lissage du taux de service et même une augmentation de la valeur moyenne sur l'horizon d'observation comme le montre le tableau 7.5. Comme on a observé un lissage du volume reçu pour les commandes passées avec contrat de réservation, on doit s'attendre à un lissage de leur taux de service aussi. C'est en effet ce que l'on observe dans le graphe de la figure 7.9 :



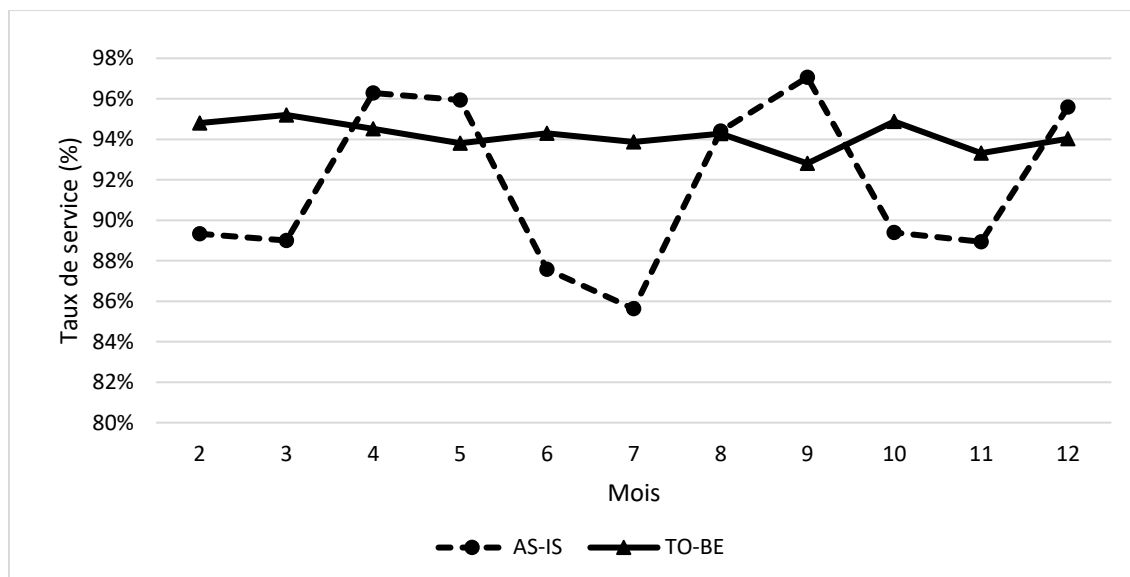


Figure 7.8: Taux de service des commandes prioritaires avec une demande variable

Ce lissage s'explique par le fait que dans les files d'attente, les commandes prioritaires se retrouvent en nombre constant ; et ce de manière récurrente mois après mois. Auparavant, avec le modèle AS-IS, le nombre de commandes dont les clients appellent était plus important pendant les pics de demande, engendrant ainsi des baisses de performances. Comme une partie des commandes prioritaires se retrouvent repoussées vers la période suivante, les commandes non prioritaires se retrouvent moins retardées puisque les files d'attente des commandes prioritaires se résorbent plus rapidement. Ainsi, pour le volume reçu, on ne constate pas de changement en ce qui concerne les commandes prioritaires, en revanche leurs indicateurs de performance sont changés comme le montre le graphe de la figure 7.9 :



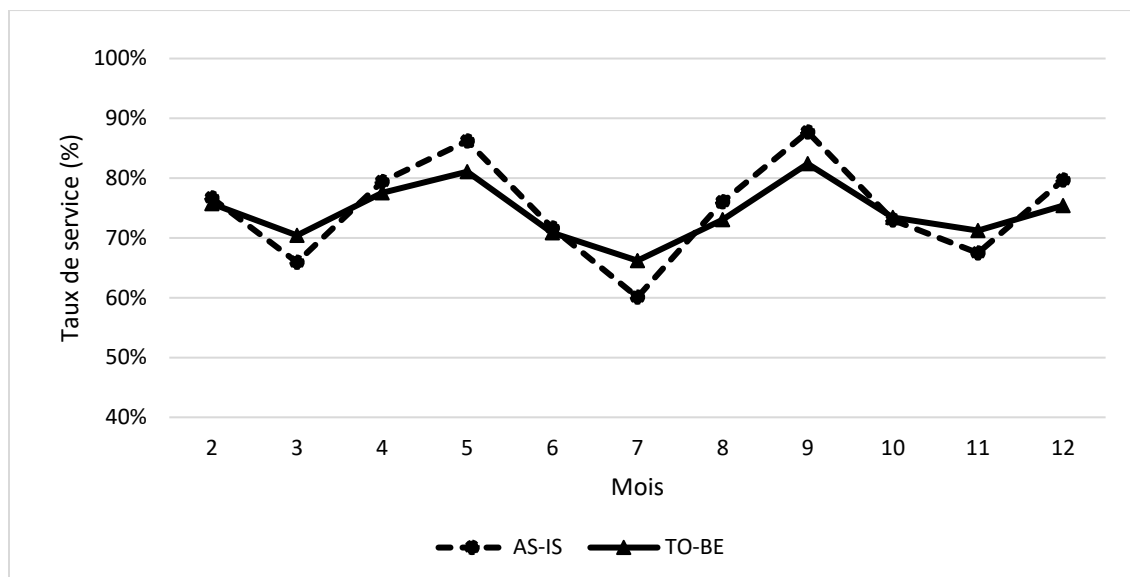


Figure 7.9: Taux de service des commandes non-prioritaires avec une demande variable

On observe bien une amélioration du taux de service au niveau des creux, en revanche on observe aussi une baisse des performances au niveau des pics avec le modèle proposé. En effet, les commandes prioritaires décalées à la période suivante engendrent une dégradation des performances des commandes non prioritaires pour cette même période. Ainsi, les gains et les pertes apportés par le modèle proposé se compensent, ce qui résulte en une conservation des performances moyennes et globales pour les commandes prioritaires, voire une légère amélioration. Le tableau 7.5 en rend compte numériquement :



Tableau 7.5: Écart types et moyennes des taux de service mensuels en fonction du type de commande avec une demande variable

Taux de service (%)	AS-IS			TO-BE		
	toutes les commandes	commandes urgentes	commandes non urgentes	toutes les commandes	commandes contrat	commandes classiques
Écart type	5,6%	4,1%	8,4%	1,5%	0,7%	4,8%
Moyenne	86,3%	91,7%	74,9%	87,4%	94,2%	74,3%

Comme pour le scénario de demande stable, nous observons le nombre d'heures de bain utilisées mensuellement. On constate les mêmes apports d'un modèle à l'autre : le modèle proposé engendre aussi un lissage du nombre d'heures de bain comme on le voit sur le graphe de la figure 7.10 :

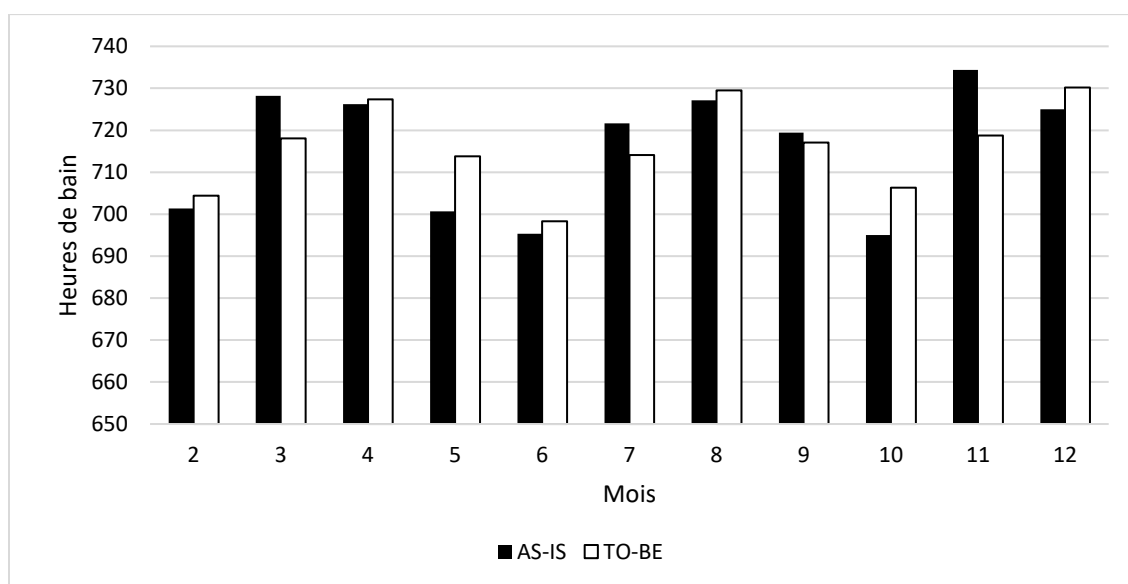


Figure 7.10: Nombre d'heures de bain utilisées mensuellement avec une demande variable

Ce lissage est, là encore, plus prononcé pour la clientèle avec un contrat de réservation comme le montre le graphe de la figure 7.11 :



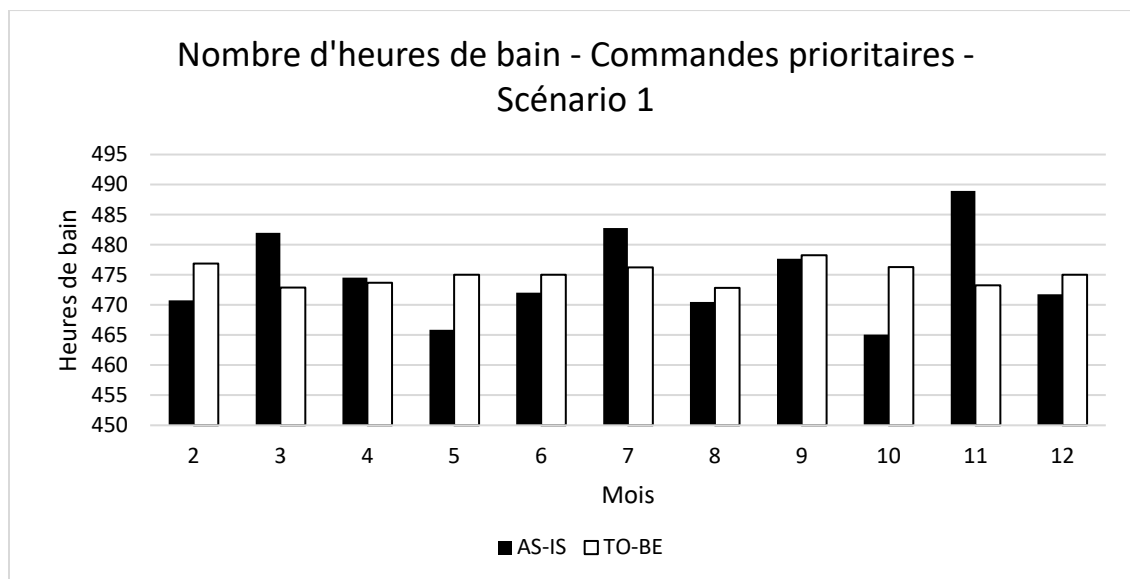


Figure 7.11: Nombre d'heures de bain utilisées mensuellement par les commandes prioritaires avec une demande variable

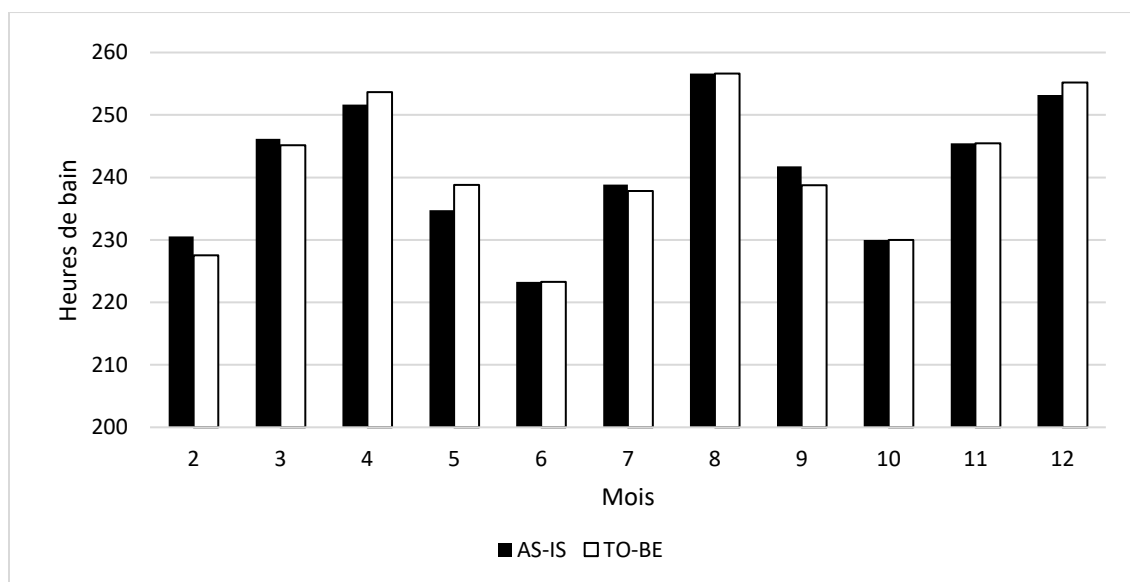


Figure 7.12: Nombre d'heures de bain utilisées mensuellement par les commandes non-prioritaires avec une demande variable

Pour les commandes non prioritaires, il n'y a pas de changement significatif ce qui est cohérent puisque les volumes entrés mensuels restent inchangés.



Le tableau 7.14 donne les valeurs numériques des apports du modèle proposé dans le cas d'une demande variable :

Tableau 7.6: Écart types et moyennes des heures de bain utilisées mensuellement en fonction du type de commande avec une demande variable

Heures de bain	AS-IS			TO-BE		
	toutes les commandes	commandes urgentes	commandes non urgentes	toutes les commandes	commandes contrat	commandes classiques
Écart type	15	7	11	10	2	11
Moyenne	716	475	241	716	475	241

Toujours, on constate que les valeurs moyennes sont identiques ou proches d'un modèle à un autre, ce qui confirme une fois de plus la validité de la comparaison.

Le plan d'expérience considérait un scénario 2 où les variations étaient plus significatives qu'avec le scénario 1. Les constatations sont identiques à celles faites pour les résultats combinant le modèle proposé et le scénario 1, à la différence près que les apports sont plus importants puisque les variations sont plus conséquentes également. Le tableau 7.7 récapitule les apports du modèle proposé :

Tableau 7.7: Apports du modèle proposé avec une demande très variable

	Volume entré (cm³)	AS-IS		TO-BE		
	Écart type	2918335		869121		
	Moyenne	19407613		19329425		
Taux de service (%)	AS-IS			TO-BE		
	toutes les commandes	commandes urgentes	commandes non urgentes	toutes les commandes	commandes contrat	commandes classiques
Écart type	11,7%	9,4%	19,4%	5,0%	0,5%	14,9%
Moyenne	76,9%	85,5%	60,3%	82,7%	93,2%	62,3%
Heures de bain	AS-IS			TO-BE		
	toutes les commandes	commandes urgentes	commandes non urgentes	toutes les commandes	commandes contrat	commandes classiques
Écart type	34	14	28	28	3	27
Moyenne	718	476	242	716	475	241



## 7.4 Résultats selon le niveau de réservation

Les résultats selon la variabilité de la demande sont basés sur un seul cas de figure avec une combinaison de clients prioritaires unique. Il est nécessaire d'analyser les apports du modèle proposé dans différents cas de figure impliquant différentes combinaisons de clients prioritaires. C'est l'objet du second plan d'expérience. Le graphe 7.13 donne l'évolution du taux de service en fonction du niveau de réservation, ou niveau d'appel si l'on considère les résultats du modèle AS-IS.

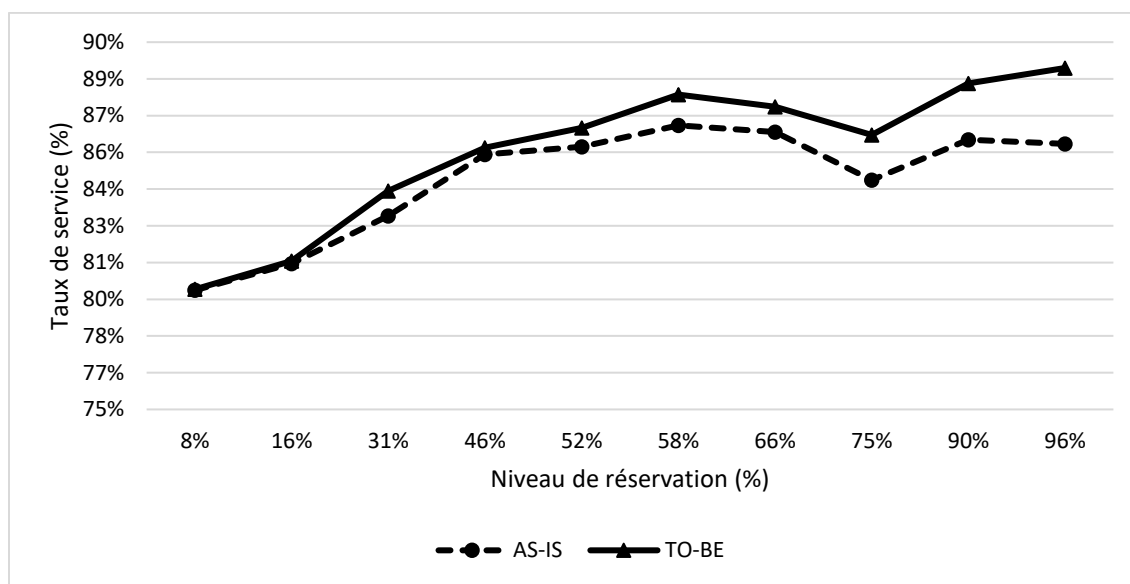


Figure 7.13: Taux de service en fonction du niveau de réservation

La première chose que l'on constate est la non-linéarité des tracés, qui est due au fait que le plan d'expérience n'implique pas une progression régulière du niveau de réservation. En effet, pour passer d'un palier à un autre, on ajoute un ou plusieurs clients à la combinaison de clients prioritaire. Or les clients ajoutés ne possèdent pas le même poids dans le flux total de commande et n'impliquent pas les mêmes gammes d'opérations et donc pas les mêmes délais de traitement. Ainsi, on obtient une tendance globale qui ne varie pas de manière constante. Aussi, on constate une amélioration des performances en fonction du niveau de réservation atteignant jusqu'à 3% de gain en taux de service par exemple. Cela s'explique par le fait qu'en augmentant le niveau de réservation, on augmente le lissage observé précédemment. On rappelle que ce lissage avait



tendance à augmenter la moyenne de l'indicateur de performance pour un horizon donné, ici l'année. Les graphes des figures 7.14 et 7.15 donnent une idée des apports du modèle proposé selon le type de commande. On constate que les apports concernent seulement les commandes prioritaires ce qui corrobore l'analyse du taux de service avec une demande variable. On avait vu aussi que la moyenne annuelle pour les commandes non prioritaires était inchangée en raison d'une compensation des gains et pertes de performances au niveau des pics et creux observés. En effet, on avait vu avec le graphe de la figure 7.9 qu'en présence de pic de demande, les commandes prioritaires sont moins nombreuses grâce au modèle TO-BE et inversement avec des creux de demande. Ainsi, les courbes concernant le modèle AS-IS et TO-BE se confondent pour les commandes non prioritaires. Les graphes des autres indicateurs de performances figurent dans l'ANNEXE C.

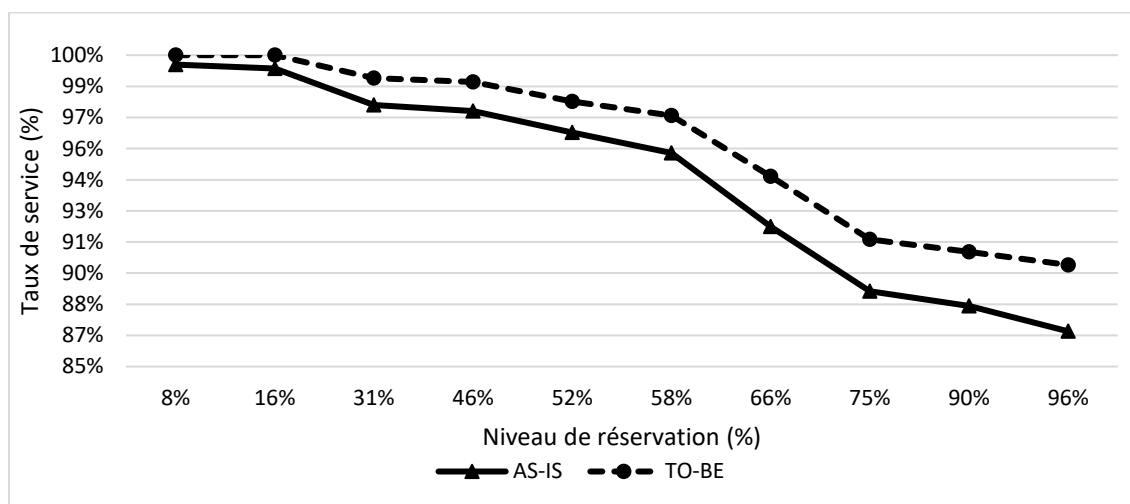


Figure 7.14 : Taux de service des commandes prioritaires en fonction du niveau de réservation



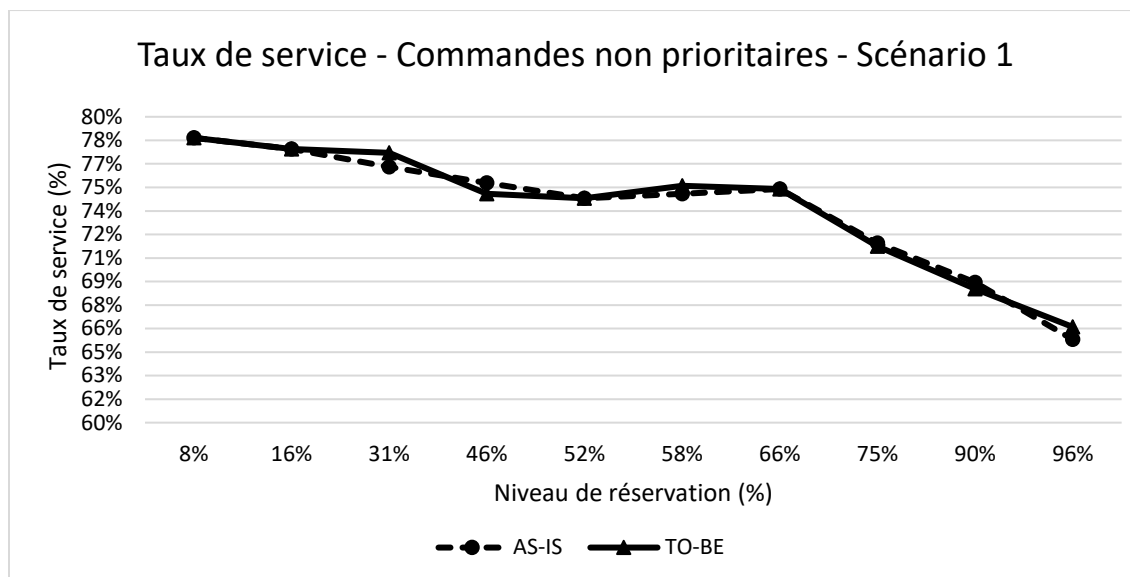


Figure 7.15 : Taux de service des commandes non prioritaires en fonction du niveau de réservation

## 7.5 Discussion

Les expériences réalisées ont permis de démontrer que les modifications du processus de base sont bénéfiques pour le MTS, mais aussi pour les clients prenant part aux contrats de réservation. Si le processus proposé n'apporte pas d'améliorations dans le cas d'une demande stable, il ne dégrade pas la situation non plus. Si on n'observe pas d'amélioration, c'est essentiellement parce qu'avec une demande stable, le processus actuel n'engendre pas de problème de surutilisation ou sous-utilisation de la capacité du MTS. On peut donc énoncer que le processus proposé est équivalent au AS-IS dans le cas d'une demande stable.

Si la demande est variable ou très variable, les apports du modèle proposé sont quantifiables. Au cours d'un horizon d'observation, le modèle proposé permet de réduire la variabilité du volume reçu, des indicateurs de performances développés et de l'utilisation des ressources de production. Si ces apports concernent essentiellement les commandes issues des contrats de réservation, la clientèle non prioritaire en est aussi bénéficiaire puisqu'on observe aussi le lissage de leurs indicateurs de performance au cours d'un horizon d'observation.

Enfin, les résultats de simulation permettent d'affirmer que les contrats de réservation présentent des avantages à être développés au sein de la clientèle. En effet, les graphes montrent un gain de performances (délai de traitement, taux de service et retard moyens) certes limité, mais réel pour



cette même clientèle. Les clients qui ont conservé le processus de commande classique ne voient pas leurs performances dégradées.

## **7.6 Conclusion**

L'analyse des résultats nous a permis de comparer de manière rationnelle les deux modèles étudiés. Le nouveau processus atteint les objectifs fixés dans le chapitre abordant la méthodologie de recherche quant à la faisabilité d'un contrat de réservation de la capacité de production et les améliorations potentielles. En effet, les simulations ont montré que le processus proposé se comporte mieux que l'actuel dans les différentes situations analysées.



## **CHAPITRE 8 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

Les PME du traitement de surface pour l'aéronautique rencontrent certaines difficultés en ce qui concerne leur relation clientèle due à leur position dans la chaîne logistique aéronautique et leur activité spécifique. Les clients passent trop souvent leurs commandes au dernier moment sans avertir leur MTS de leurs besoins dont ils ont connaissance bien assez tôt pourtant. Ces clients se montrent aussi agressifs parfois de par les délais accordés et les relances successives pour justement contrebalancer le retard dans le passage de la commande. Ce comportement engendre des difficultés pour la gestion des opérations du côté des MTS comme le manque d'anticipation pour la gestion des ressources humaines et les changements perpétuels dans le plan de production. En résultat, le processus actuel montre certaines défaillances au niveau des performances des commandes. Les taux de services ne sont pas optimaux pour les commandes dont les relances ne sont pas faites. Ainsi, les relances donnent un caractère arbitraire et aléatoire à la gestion des priorités. Face à ces problèmes récurrents rencontrés dans le secteur, nous avons proposé des solutions basées sur des nuances de contrat et de processus afin de réglementer de manière rationnelle la gestion des priorités. Ces propositions ont l'ambition d'apporter des bénéfices tant pour les MTS que leur clientèle, notamment celle engagée dans une éventuelle relation contractuelle. L'évaluation des performances de ces processus nous permet d'édicter certaines recommandations quant à l'utilisation de nos contrats et processus en fonction du profil des commandes et de la clientèle. Ces recommandations s'adressent à toutes les PME du secteur et les acteurs de la chaîne logistique qui ont des interactions commerciales avec les MTS, de près ou de loin au sein de la CL aéronautique.

Notre étude peut servir de référence pour construire un modèle propre au MTS. Comme il s'agit d'un modèle théorique basé sur un cas d'étude, il est nécessaire de procéder à la phase de calibration pour un cas d'étude différent du nôtre. On peut aussi recommander notre modèle pour différent domaine que celui du traitement de surface. En effet, le modèle propose une approche de réservation de la capacité qui peut s'appliquer à n'importe quel service de sous-traitance, en particulier pour des secteurs cycliques sujets à un effet coup de fouet pour les acteurs en bout de chaîne logistique. L'application de la démarche doit susciter chez les manufacturiers une prise de conscience quant à l'utilité de considérer les problématiques posées à leurs sous-traitants. Ceux-ci



peuvent donc avoir recours à notre démarche pour mettre la collaboration au cœur de leur stratégie relationnelle avec leur clientèle.

Au regard des contributions, l'étude met en lumière un problème relationnel entre deux types d'acteurs au sein de la chaîne logistique aéronautique. Cette relation met en place un rapport de force qui n'est finalement pas bénéfique – les performances sont améliorables – pour la clientèle qui donne ses ordres. Même si c'est une problématique spécifique, elle trouve un écho dans n'importe quelle chaîne logistique industrielle. La présente recherche offre ainsi une revue exhaustive des types de collaboration, en particulier des contrats par réservation de la capacité. Cette revue de la littérature scientifique a permis de mettre en évidence un manque de recherche du point de vue des acteurs en bout de chaîne logistique et a aussi mis en évidence la prépondérance d'autres secteurs quand il s'agit d'études sur les pratiques collaboratives, notamment le secteur de la grande distribution.

La présente étude a aussi proposé une relation collaborative basée sur un échange d'information et dépourvue de contrainte financière si les termes des contrats sont respectés. C'est donc une proposition viable même si le marché évolue, car bien souvent dans les contrats où l'aspect financier intervient, c'est souvent le plus fort qui impose ce qu'il veut à l'autre. Notre contribution apporte ainsi un nouveau regard sur la collaboration dans la gestion des opérations, à travers le cas spécifique des MTS.

Ainsi, nous pouvons affirmer que les objectifs de recherche ont été atteints. En effet, nous avons démontré la faisabilité d'un contrat de réservation de la capacité de production, en la définissant quantitativement comme étant une limite mensuelle du volume des commandes passées. Ensuite, nous avons montré que notre proposition n'est bénéfique que dans le cas où la demande est très variable et qu'elle permet à la fois de lisser et d'améliorer les performances sur un horizon d'observation. On a vu que les apports du modèle concernent surtout les clients engagés dans un contrat, mais aussi les autres, ce qui donne du crédit à la faisabilité du processus proposé. Enfin, on a atteint notre dernier objectif de recherche en montrant que la généralisation de la pratique de réservation améliore les performances générales du manufacturier sans dégrader notablement celles des clients classiques.

Notre recherche comporte cependant des limites. En premier lieu dans le travail de modélisation. Le modèle qui a été utilisé pour les simulations est essentiellement théorique et ne se base pas sur



des données réelles. Certes, cela donne un caractère générique aux conclusions apportées, c'est-à-dire que n'importe quel MTS peut appliquer notre cas d'étude à son propre cas. Au niveau du choix de la méthodologie de simulation, nous ne traitons pas l'aspect de la planification répétitive des tâches qui est pourtant essentiel puisqu'il constitue un des problèmes diagnostiqués. Or, la simulation par événements discrets ne permet pas de proposer une nouvelle voie pour la gestion de la planification des tâches et de l'utilisation des ressources. Aussi, notre étude présente une limitation majeure qui nécessite un développement futur. En effet, nous nous concentrons essentiellement sur le point de vue du manufacturier puisque nous analysons ses performances et l'impact de l'application du contrat sur ses clients seulement. L'étude mériterait d'être poursuivie en considérant le point de vue d'un client traitant avec plusieurs manufacturiers cette fois-ci, en diversifiant la nature de ses contrats, classiques et de réservation. On pourrait même envisager plusieurs nuances de contrat avec un même manufacturier et voir l'impact de la variabilité de certains paramètres de contrat tel que la tolérance sur la limite mensuelle du volume contracté ou le volume contracté lui-même. Cela revient à développer des clauses de contrat exposées dans la littérature, mais pas exploitées dans notre étude. Enfin, il serait intéressant d'utiliser une autre méthodologie de simulation. On pourrait envisager la simulation par agent qui permettrait une réelle gestion des ressources, des priorités et de la planification des tâches, notamment grâce aux agents capables de prendre des décisions de manière autonome.



## RÉFÉRENCES

- Alfalla-Luque, R., Medina-Lopez, C., & Schrage, H. (2013). A study of supply chain integration in the aeronautics sector. *Production Planning & Control*, 24(8-9), 769-784. doi:10.1080/09537287.2012.666868
- Barratt, M. (2004). Understanding the meaning of collaboration in the supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 9(1), 30-42. doi:doi:10.1108/13598540410517566
- Bassok, Y., Bixby, A., Srinivasan, R., & Wiesel, H. Z. (1997). Design of component-supply contract with commitment-revision flexibility. *IBM journal of research and development*, 41(6), 693-703.
- Berry, W. L., & Rao, V. (1975). Critical ratio scheduling: an experimental analysis. *Management Science*, 22(2), 192-201.
- Brown, A., & Lee, H. L. (1997). Optimal pay-to-delay capacity reservation with application to the semiconductor industry. *Department of Industrial Engineering and Engineering Management Working Paper, Stanford University, Stanford, CA*.
- Buzacott, J., Yan, H., & Zhang, H. (2011). Risk analysis of commitment–option contracts with forecast updates. *IIE Transactions*, 43(6), 415-431.
- Cachon, G., & Fisher, M. (1997). CAMPBELL SOUP'S CONTINUOUS REPLENISHMENT PROGRAM: EVALUATION AND ENHANCED INVENTORY DECISION RULES. *Production and Operations Management*, 6(3), 266-276. doi:10.1111/j.1937-5956.1997.tb00430.x
- Cachon, G. P., & Lariviere, M. A. (2005). Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: strengths and limitations. *Management science*, 51(1), 30-44.
- Cassivi, L. (2003). The impact of CPFR on performance of firms in a supply chain.
- Çetinkaya, S., & Lee, C.-Y. (2000). Stock replenishment and shipment scheduling for vendor-managed inventory systems. *Management Science*, 46(2), 217-232.
- Clark, T., & McKenney, J. (1994). Campbell Soup Company: a leader in continuous replenishment innovations. *Harvard Business School Case*, 195124.
- Corbett, C. J., & Tang, C. S. (1999). Designing supply contracts: Contract type and information asymmetry. Dans *Quantitative models for supply chain management* (p. 269-297): Springer.
- Coyle, J. J., Bardi, E. J., & Langley, C. J. (1996). *The management of business logistics* (vol. 6): West Publishing Company St Paul, MN.
- Creti, A., & Villeneuve, B. (2004). Long-term contracts and take-or-pay clauses in natural gas markets. *Energy Studies Review*, 13(1), 75-94.
- Dabbas, R. (1999). *A new scheduling approach using combined dispatching criteria in semiconductor manufacturing systems*. (Arizona State University).



- de Kok, T. G. (2000). Capacity allocation and outsourcing in a process industry. *International Journal of Production Economics*, 68(3), 229-239. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273\(99\)00134-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273(99)00134-6)
- Disney, S. M., & Towill, D. R. (2003). The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains. *International Journal of Production Economics*, 85(2), 199-215. doi:10.1016/s0925-5273(03)00110-5
- Eppen, G. D., & Iyer, A. V. (1997). Backup agreements in fashion buying—the value of upstream flexibility. *Management Science*, 43(11), 1469-1484.
- Erkoc, M., & Wu, S. D. (2005). Managing High-Tech Capacity Expansion via Reservation Contracts. *Production and Operations Management*, 14(2), 232-251. doi:10.1111/j.1937-5956.2005.tb00021.x
- Fisher, M. L. (2003). What is the right supply chain for your product. *Operations management: critical perspectives on business and management*, 4, 73.
- Frazier, R. M. (1986). Quick response in soft lines. *Discount Merchandiser*, 26(1), 40-46.
- Glachant, J.-M., & Hallack, M. (2009). Take-or-pay contract robustness: A three step story told by the Brazil–Bolivia gas case? *Energy Policy*, 37(2), 651-657.
- Gomez\_Padilla, A., & Mishina, T. (2009). Supply contract with options. *International Journal of Production Economics*, 122(1), 312-318. doi:10.1016/j.ijpe.2009.06.006
- Hazra, J., & Mahadevan, B. (2009). A procurement model using capacity reservation. *European Journal of Operational Research*, 193(1), 303-316. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2007.10.039>
- Hou, J., Zeng, A. Z., & Zhao, L. (2010). Coordination with a backup supplier through buy-back contract under supply disruption. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(6), 881-895.
- Inderfurth, K., & Kelle, P. (2011). Capacity reservation under spot market price uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 272-279. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.022>
- Inderfurth, K., Kelle, P., & Kleber, R. (2013). Dual sourcing using capacity reservation and spot market: Optimal procurement policy and heuristic parameter determination. *European Journal of Operational Research*, 225(2), 298-309. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2012.08.025>
- Ingimundardottir, H., & Runarsson, T. P. (2011). *Supervised learning linear priority dispatch rules for job-shop scheduling*. Communication présentée à International Conference on Learning and Intelligent Optimization (p. 263-277).
- Iyer, A. V., & Bergen, M. E. (1997). Quick response in manufacturer-retailer channels. *Management Science*, 43(4), 559-570.
- Jin, M., & Wu, S. D. (2007). Capacity reservation contracts for high-tech industry. *European Journal of Operational Research*, 176(3), 1659-1677.
- Johnston, A., Kavali, A., & Neuhoﬀ, K. (2008). Take-or-pay contracts for renewables deployment. *Energy Policy*, 36(7), 2481-2503.



- Kaiser, M. J., & Tumma, S. (2004). Take-or-pay contract valuation under price and private uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 28(7), 653-676.
- Lapide, L. (2010). A history of CPFR. *The journal of business forecasting*, 29(4), 29.
- Lee, H. L., So, K. C., & Tang, C. S. (2000). The value of information sharing in a two-level supply chain. *Management science*, 46(5), 626-643.
- Li, C., & Liu, S. (2013). A robust optimization approach to reduce the bullwhip effect of supply chains with vendor order placement lead time delays in an uncertain environment. *Applied Mathematical Modelling*, 37(3), 707-718. doi:10.1016/j.apm.2012.02.033
- Liu, C.-H., & Hsu, C.-I. (2015). Dynamic job shop scheduling with fixed interval deliveries. *Production Engineering*, 9(3), 377-391. doi:10.1007/s11740-015-0605-z
- Lv, F., Ma, S., & Guan, X. (2015). The implication of capacity reservation contracts in assembly system with asymmetric demand information. *International Journal of Production Research*, 53(18), 5564-5591.
- Mantrala, M. K., & Raman, K. (1999). Demand uncertainty and supplier's returns policies for a multi-store style-good retailer. *European Journal of Operational Research*, 115(2), 270-284.
- Muckstadt, J. A., Murray, D. H., Rappold, J. A., & Collins, D. E. (2001). Guidelines for Collaborative Supply Chain System Design and Operation. *Information Systems Frontiers*, 3(4), 427-453. doi:10.1023/a:1012824820895
- Namikawa, R. (2003). Take-or-Pay under Japanese energy policy. *Energy Policy*, 31(13), 1327-1337.
- Poler, R., Hernandez, J. E., Mula, J., & Lario, F. C. (2008). Collaborative forecasting in networked manufacturing enterprises. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 19(4), 514-528. doi:10.1108/17410380810869941
- Quintero, E., & Li, Z. (2012). Importance of CPFR implementation in SME: Discovering the need and insights of CPFR as a supply chain strategy.
- Rajendran, C., & Holthaus, O. (1999). A comparative study of dispatching rules in dynamic flowshops and jobshops. *European journal of operational research*, 116(1), 156-170.
- Rose, O. (2003). *Comparison of due-date oriented dispatch rules in semiconductor manufacturing*. Communication présentée à IIE Annual Conference. Proceedings (p. 1).
- Salmon, K. (1993). Associates, 1993. *Efficient Consumer Response: Enhancing Consumer Value in the Supply Chain*. Kurt Salmon Associates, Washington DC, USA.
- Serel, D. A., Dada, M., & Moskowitz, H. (2001). Sourcing decisions with capacity reservation contracts. *European Journal of Operational Research*, 131(3), 635-648. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00106-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00106-5)
- Serel, D. a. A. (2007). Capacity reservation under supply uncertainty. *Computers & Operations Research*, 34(4), 1192-1220. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2005.06.018>
- Sethi, S. P., Yan, H., & Zhang, H. (2004). Quantity flexibility contracts: optimal decisions with information updates. *Decision Sciences*, 35(4), 691-712.

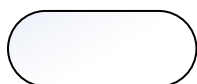


- Sherman, R. J. (1998). Collaborative Planning, Forecasting & Replenishment (CPFR): Realizing the Promise of Efficient Consumer Response through Collaborative Technology. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 6(4), 6-9. doi:10.1080/10696679.1998.11501806
- Sparks, L., & Wagner, B. A. (2003). Retail exchanges: a research agenda. *Supply Chain Management: An International Journal*, 8(1), 17-25.
- Suri, R. (1998). *Quick response manufacturing: a companywide approach to reducing lead times*: CRC Press.
- Svensson, G. (2002). Efficient consumer response – its origin and evolution in the history of marketing. *Management Decision*, 40(5), 508-519. doi:doi:10.1108/00251740210430489
- Taghipour, A., & Frayret, J.-M. (2013). Dynamic mutual adjustment search for supply chain operations planning co-ordination. *International Journal of Production Research*, 51(9), 2715-2739. doi:10.1080/00207543.2012.737952
- Tsay, A. A. (1999). The Quantity Flexibility Contract and Supplier-Customer Incentives. *Management Science*, 45(10), 1339-1358. doi:doi:10.1287/mnsc.45.10.1339
- Tuominen, M. (2004). Channel collaboration and firm value proposition. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 32(4), 178-189.
- van Norden, L., & van de Velde, S. (2005). Multi-product lot-sizing with a transportation capacity reservation contract. *European Journal of Operational Research*, 165(1), 127-138. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2003.04.008>
- Waller, M., Johnson, M. E., & Davis, T. (1999). Vendor-managed inventory in the retail supply chain. *Journal of business logistics*, 20(1), 183.
- Wang, Q., & Tsao, D.-b. (2006). Supply contract with bidirectional options: The buyer's perspective. *International Journal of Production Economics*, 101(1), 30-52. doi:10.1016/j.ijpe.2005.05.005
- Wang, X., & Liu, L. (2007). Coordination in a retailer-led supply chain through option contract. *International Journal of Production Economics*, 110(1-2), 115-127. doi:10.1016/j.ijpe.2007.02.022
- Williamson, O. E. (1979). Transaction-cost economics: the governance of contractual relations. *The journal of law & economics*, 22(2), 233-261.
- Wu, J., Yue, W., Yamamoto, Y., & Wang, S. (2006). Risk analysis of a pay to delay capacity reservation contract. *Optimisation Methods and Software*, 21(4), 635-651.
- Xu, H. (2010). Managing production and procurement through option contracts in supply chains with random yield. *International Journal of Production Economics*, 126(2), 306-313. doi:10.1016/j.ijpe.2010.04.007
- Xu, N. (2005). Multi-period dynamic supply contracts with cancellation. *Computers & Operations Research*, 32(12), 3129-3142.
- Yao, Y., & Dresner, M. (2008). The inventory value of information sharing, continuous replenishment, and vendor-managed inventory. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(3), 361-378.



## ANNEXE A – PROCESSUS GLOBAL DE TRAITEMENT DES COMMANDES

### LÉGENDE



Début ou fin



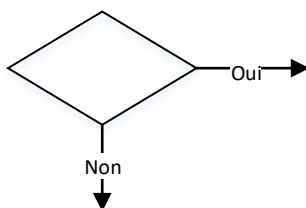
Progression



Activité



Activités  
agrégées



Décision



Document



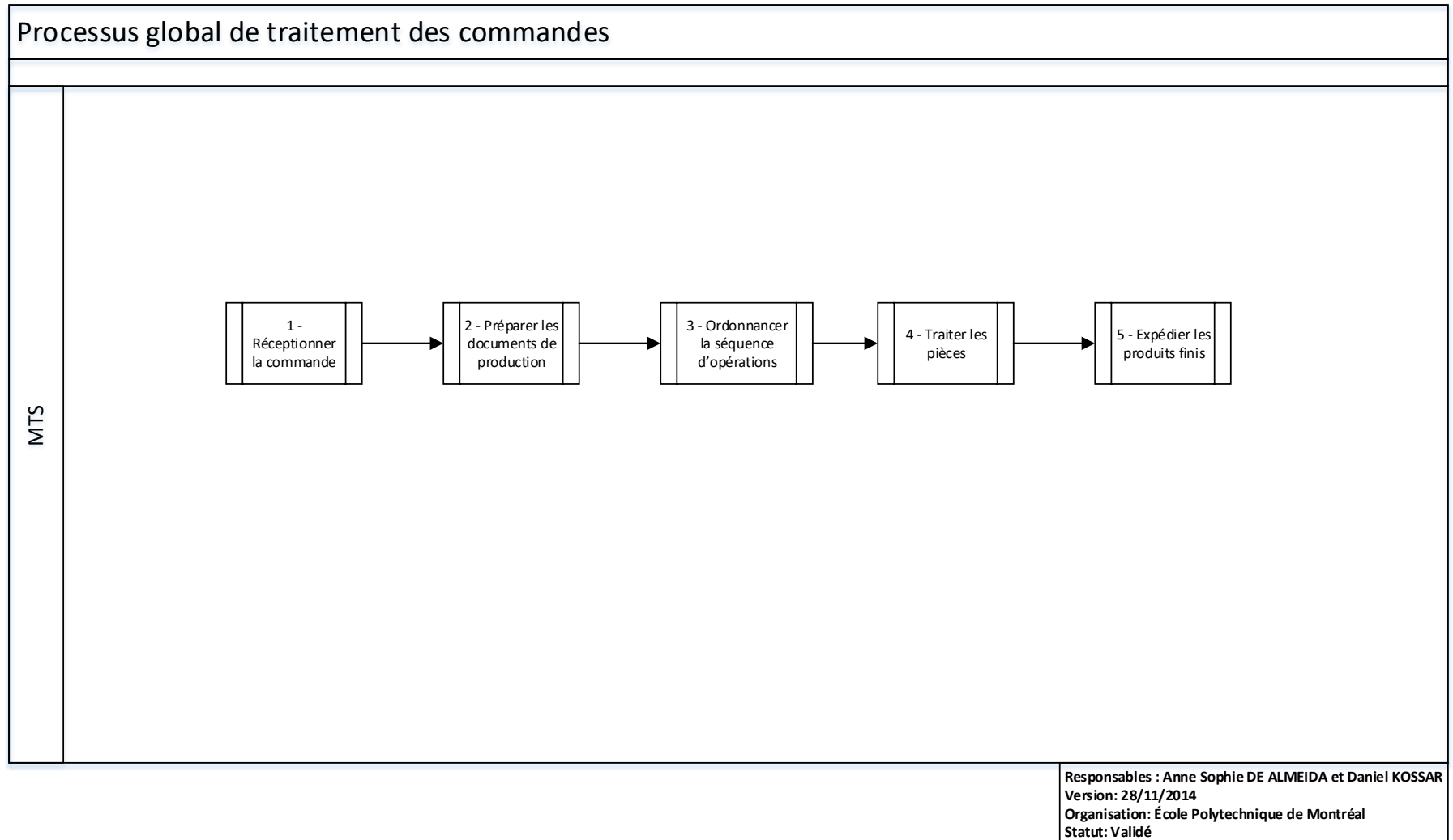


Figure A.1: Processus global de traitement des commandes



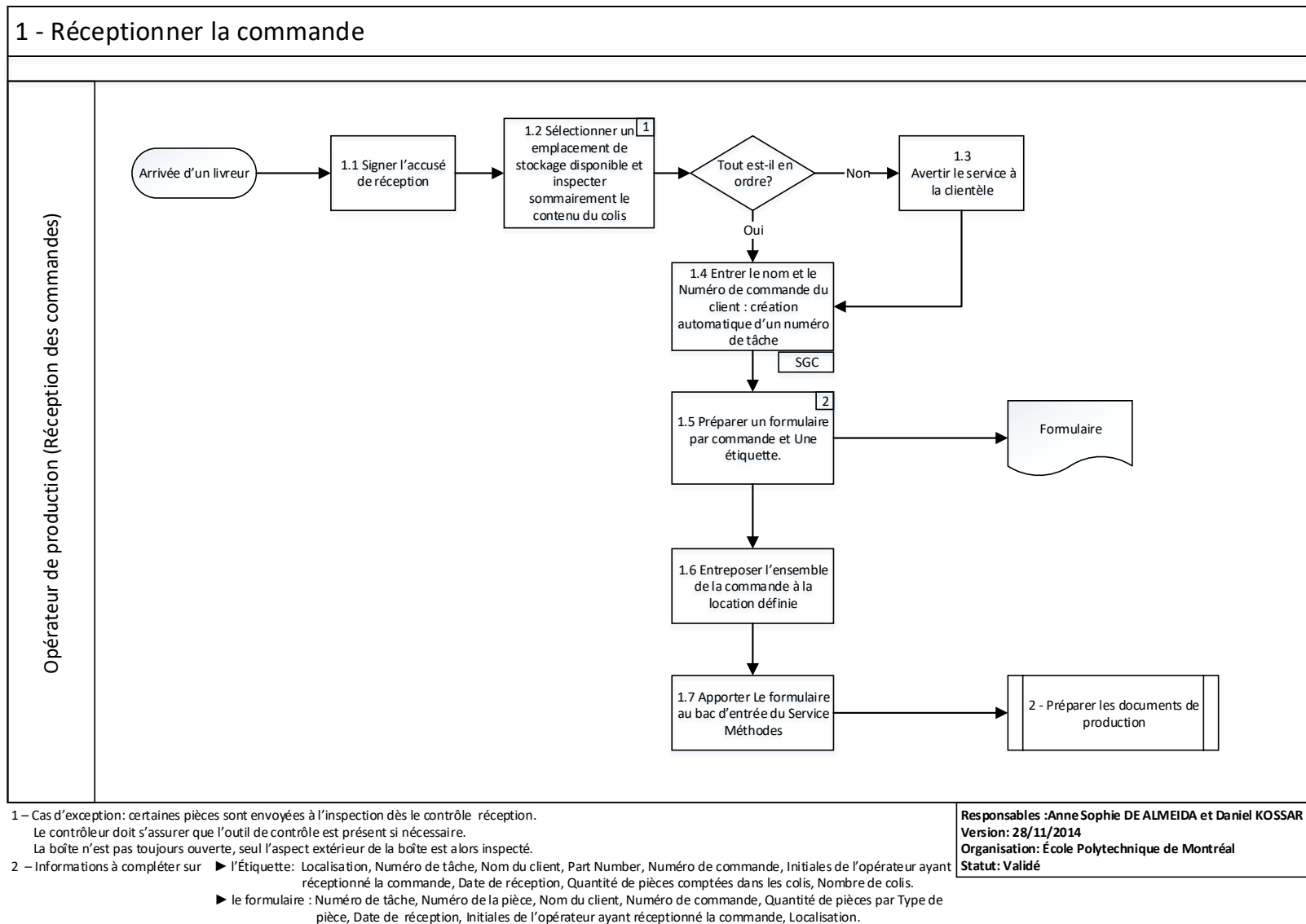


Figure A.2: Processus de réception des commandes



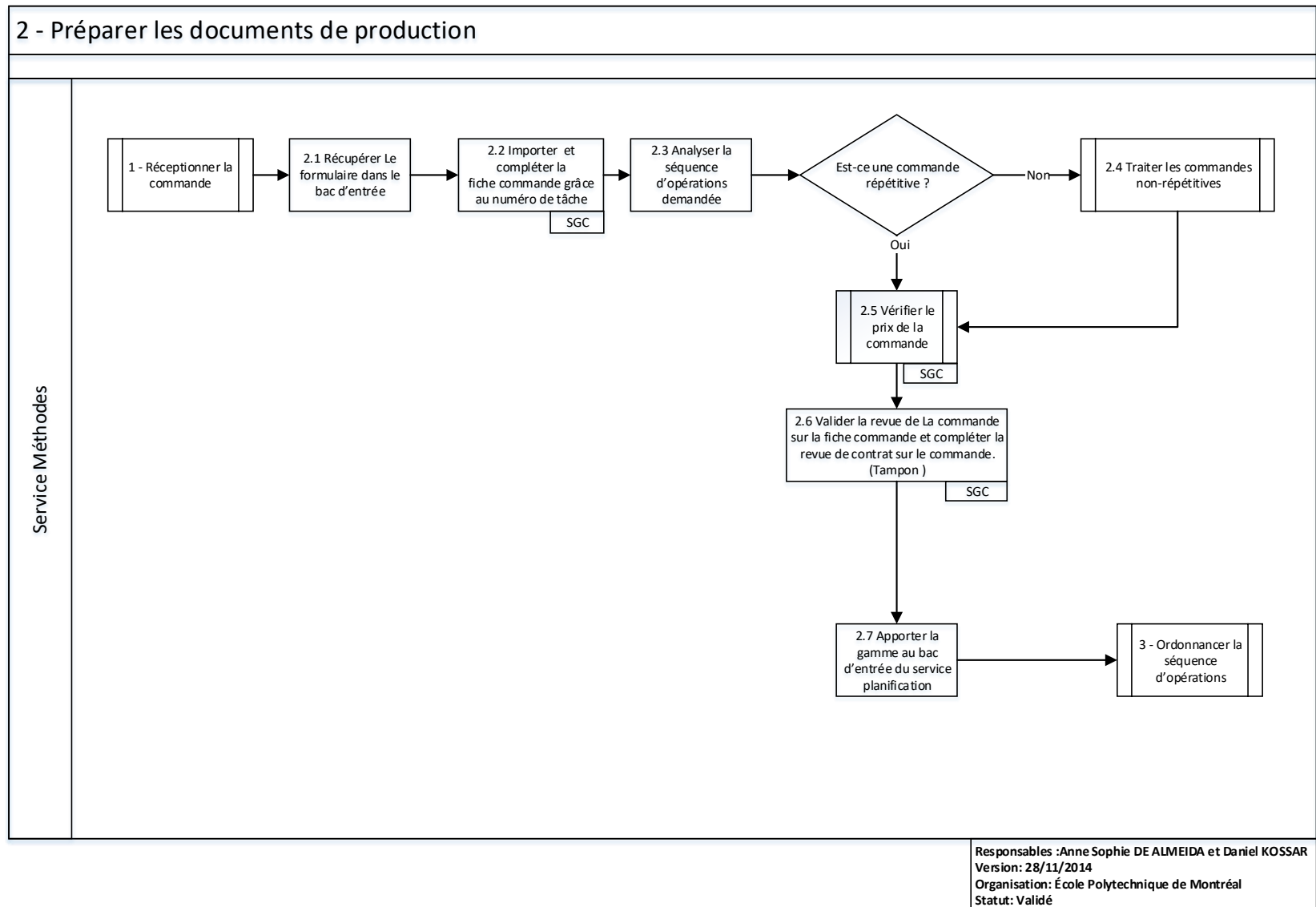


Figure A.3: Processus de préparation des documents de production



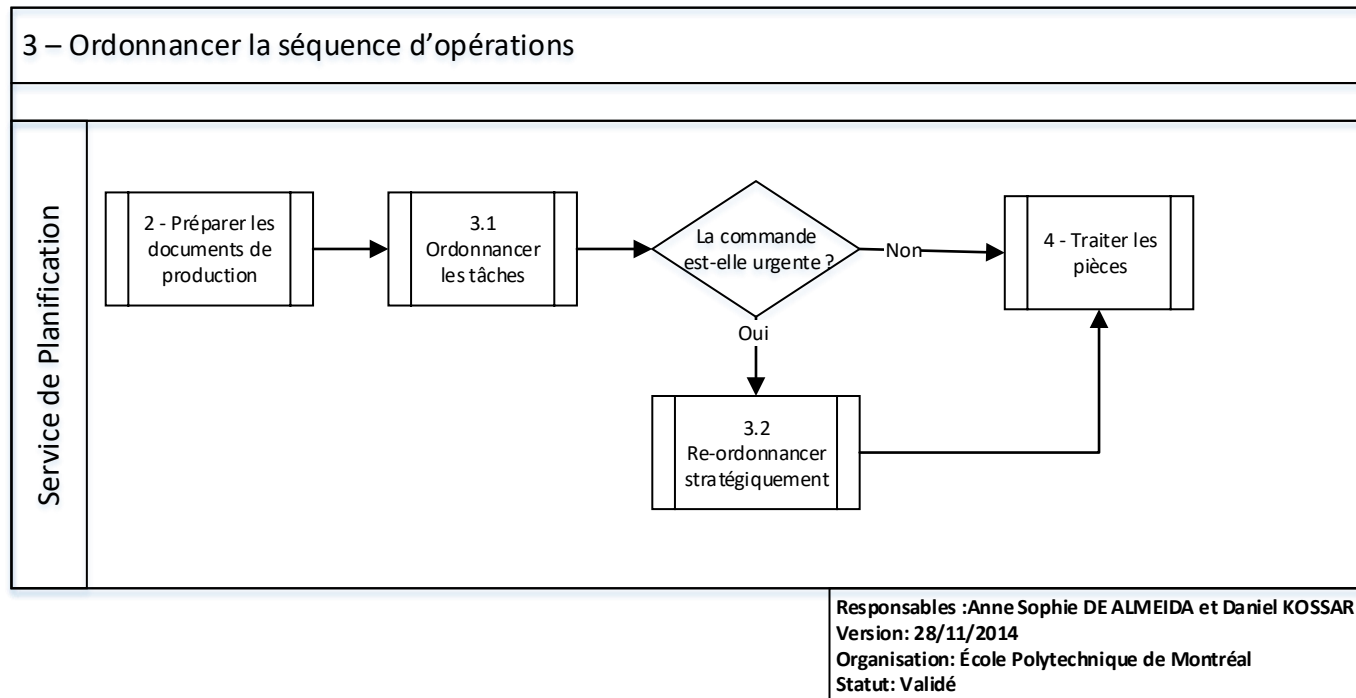


Figure A.4: Processus d'ordonnancement de la séquence d'opérations



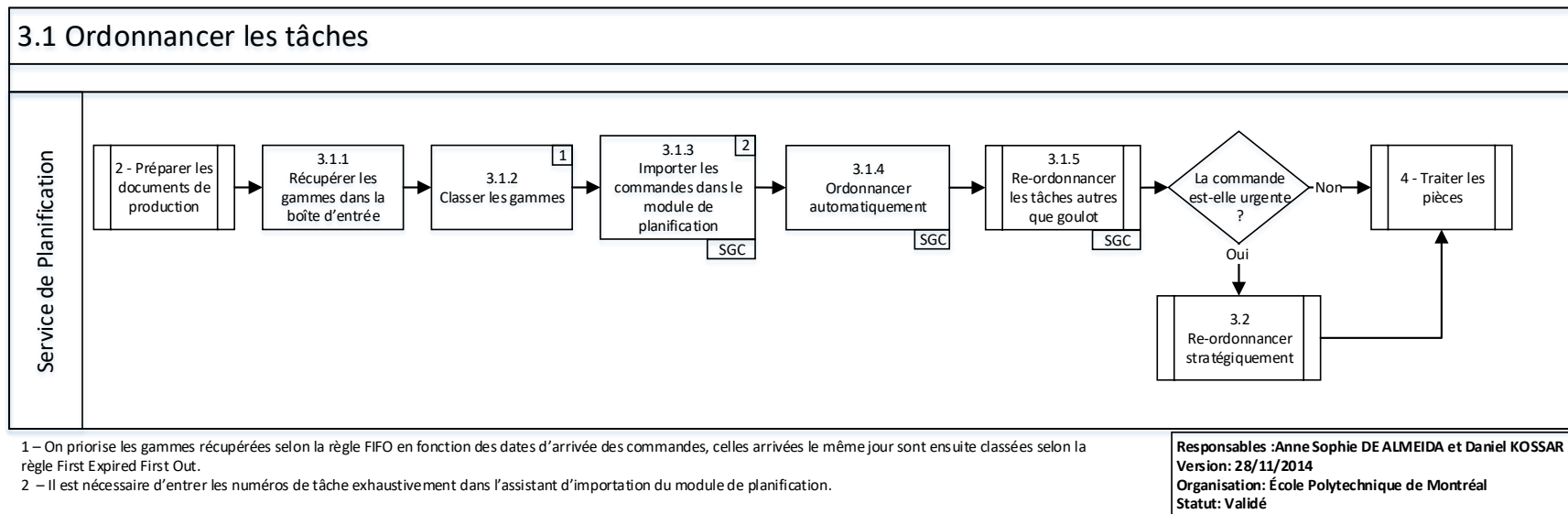


Figure A.5: Processus d'ordonnancement des tâches



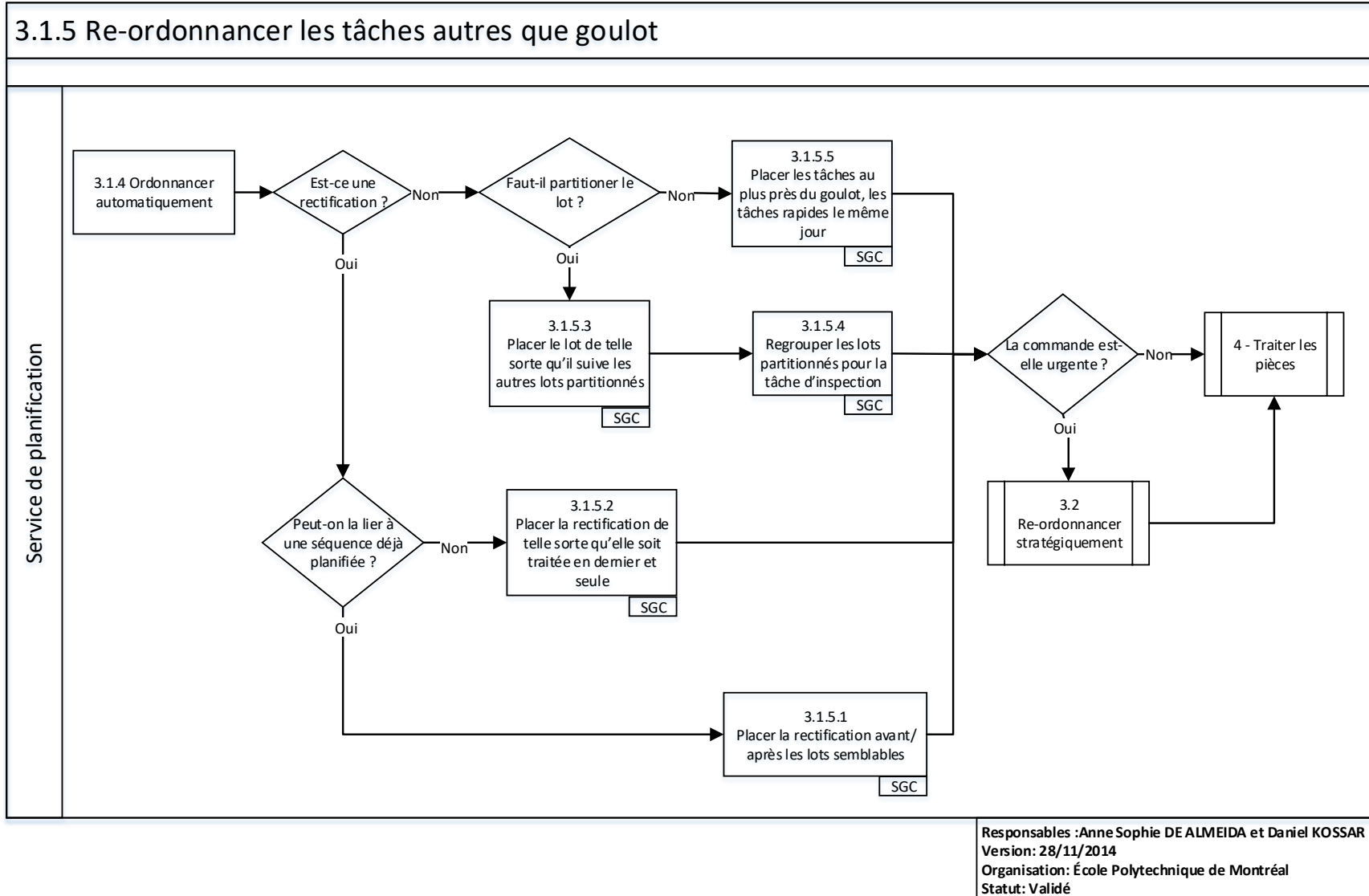


Figure A.6: Processus de ré-ordonnancement



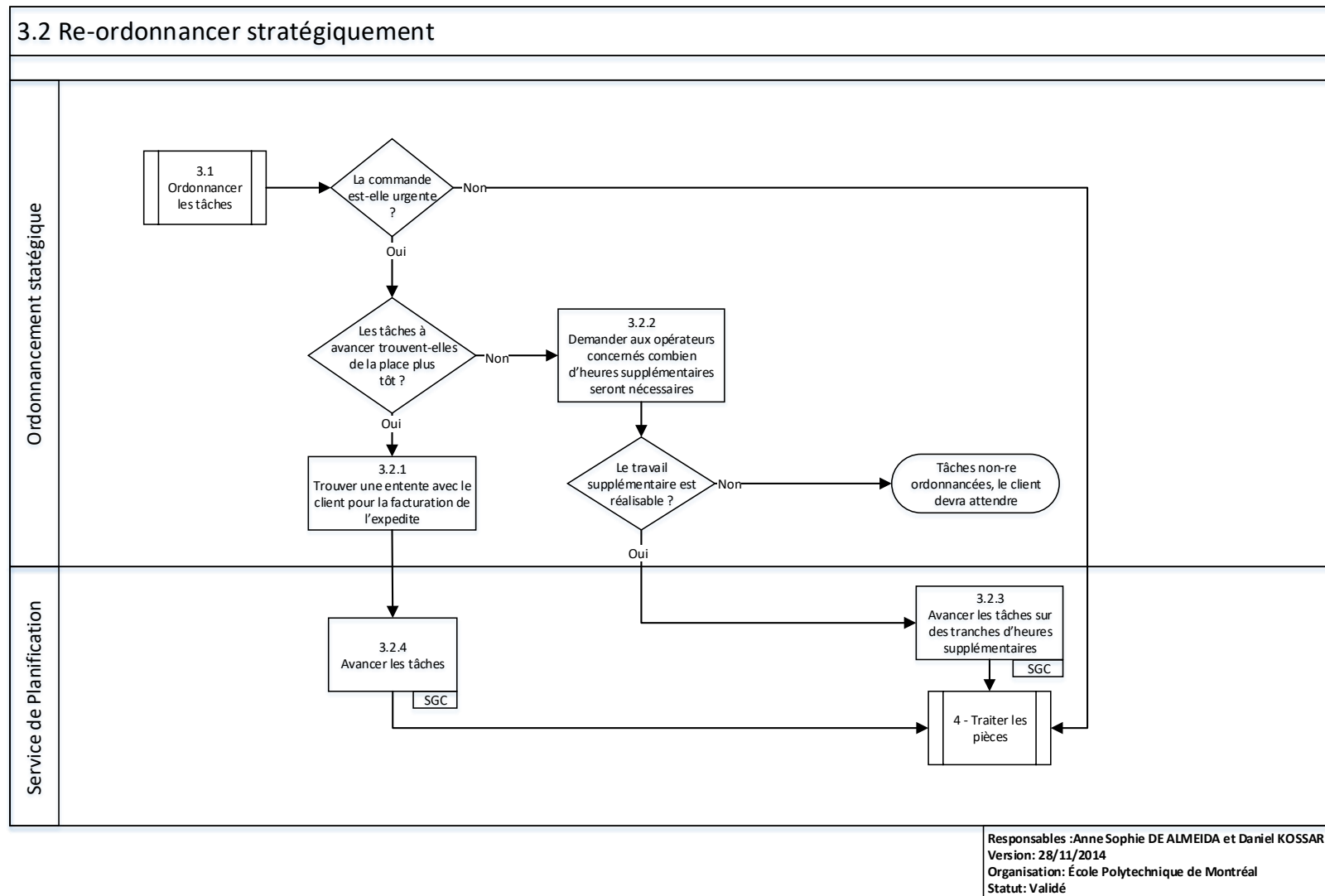


Figure A.7: Processus d'ordonnancement stratégique



## ANNEXE B – VALIDATION DU MODÈLE AS-IS : CONVERGENCE DES INDICATEURS DE PERFORMANCE

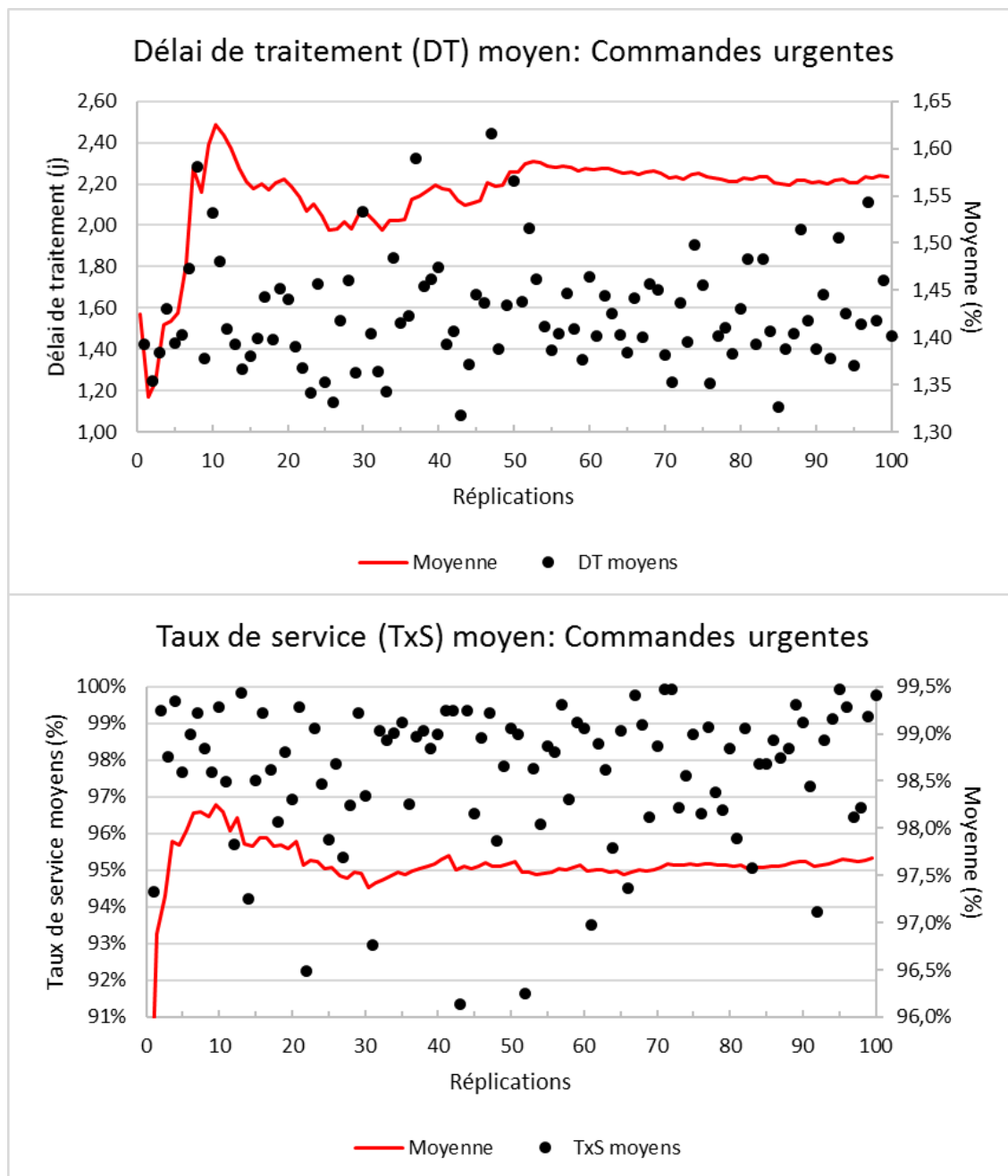


Figure B.1: Délai de traitement et taux de service moyens des commandes urgentes en fonction du nombre de réplication



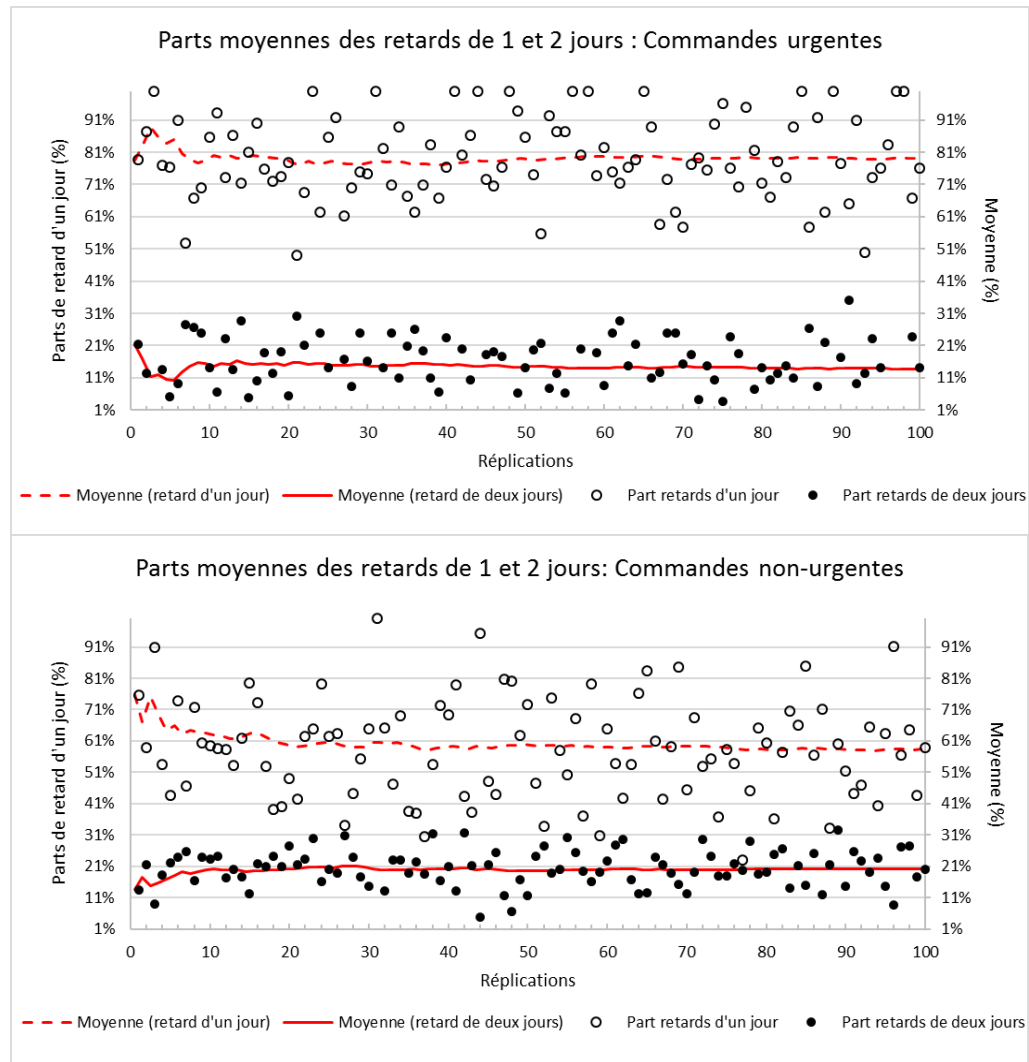


Figure B.2: Parts moyennes des retards inférieurs à deux jours en fonction du nombre de réplication



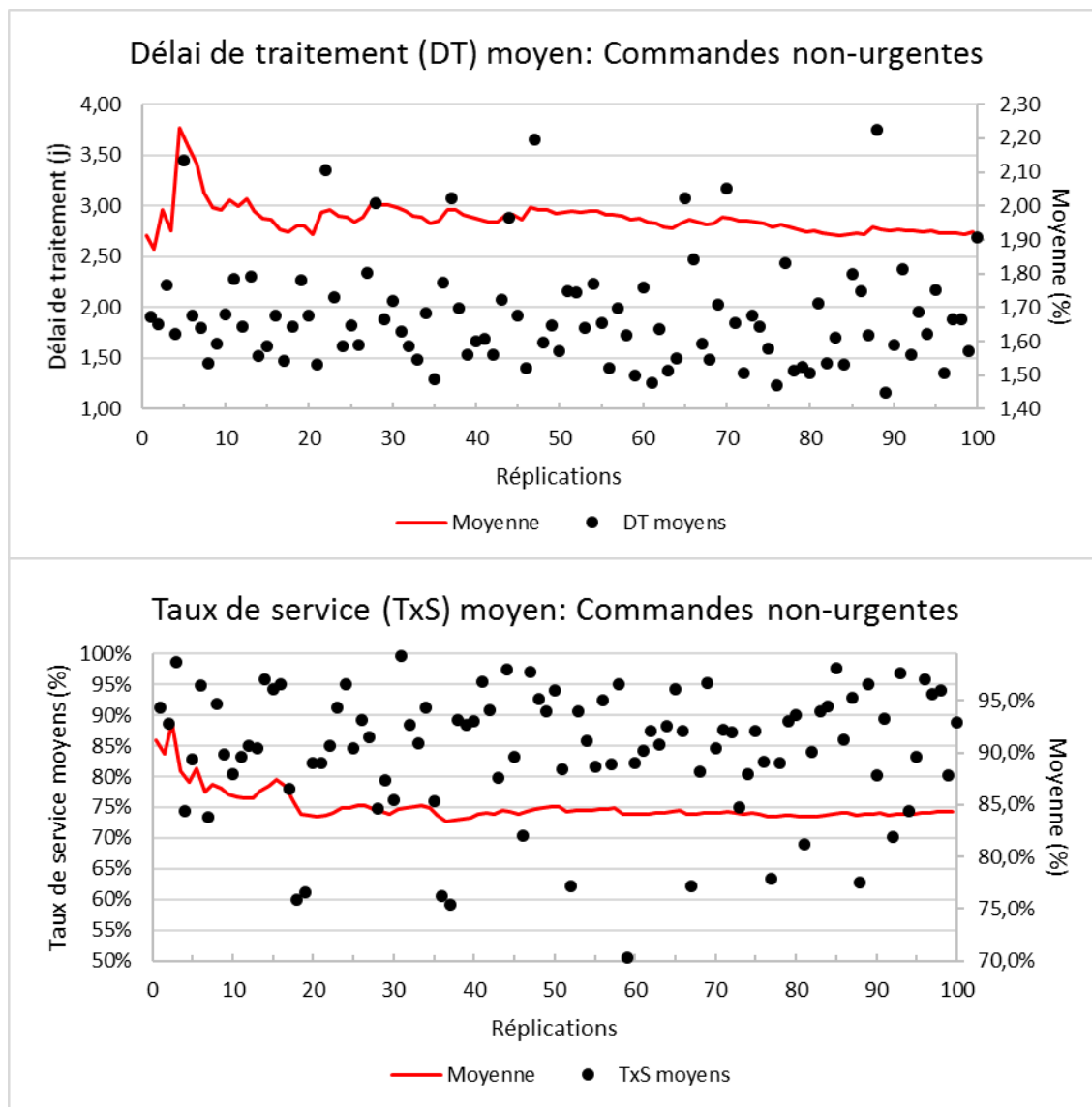


Figure B.3: Délai de traitement et taux de services moyens des commandes non-urgentes en fonction du nombre de réplication



## ANNEXE C – RÉSULTATS DE SIMULATION

Tableau C.1: Délai de traitement et taux de service en fonction du niveau d'appel/de réservation

SCÉNARIO 1		Délai de traitement (j)	AS-IS			TO-BE		
Listes des clients urgentes/contrat	Niv. d'appels/de réservation		toutes les commandes	commandes urgentes	commandes non urgentes	toutes les commandes	commandes contrat	commandes classiques
1	8%		2,1	1,0	2,2	2,0	0,9	2,1
1, 2	16%		2,0	1,0	2,2	2,0	0,9	2,2
1, 2 et 5	31%		2,0	1,2	2,4	1,9	0,9	2,4
1, 2, 5 et 6	46%		2,0	1,2	2,6	1,9	1,0	2,7
1, 2, 5, 6 et 7	52%		1,9	1,4	2,5	1,8	1,1	2,6
1, 2, 5, 6, 7 et 9	58%		1,8	1,4	2,5	1,7	1,2	2,5
1, 2, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	66%		1,8	1,5	2,5	1,7	1,3	2,6
1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	75%		1,8	1,6	2,5	1,7	1,4	2,6
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	90%		1,7	1,6	2,7	1,5	1,4	2,8
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 12	96%		1,6	1,6	2,9	1,5	1,4	3,1
SCÉNARIO 1		Taux de service (%)	AS-IS			TO-BE		
Listes des clients urgentes/contrat	Niv. d'appels/de réservation		toutes les commandes	commandes urgentes	commandes non urgentes	toutes les commandes	commandes contrat	commandes classiques
1	8%		79,9%	99,5%	78,2%	79,9%	100,0%	78,2%
1, 2	16%		81,0%	99,4%	77,4%	81,1%	100,0%	77,4%
1, 2 et 5	31%		82,9%	97,6%	76,3%	83,9%	98,9%	77,2%
1, 2, 5 et 6	46%		85,4%	97,3%	75,3%	85,7%	98,7%	74,6%
1, 2, 5, 6 et 7	52%		85,7%	96,3%	74,3%	86,5%	97,8%	74,3%
1, 2, 5, 6, 7 et 9	58%		86,6%	95,3%	74,6%	87,9%	97,1%	75,1%
1, 2, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	66%		86,3%	91,7%	74,9%	87,4%	94,2%	74,9%
1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	75%		84,4%	88,6%	71,4%	86,2%	91,1%	71,2%
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	90%		86,0%	87,9%	68,9%	88,3%	90,5%	68,5%
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 12	96%		85,8%	86,7%	65,3%	88,9%	89,9%	66,1%



Tableau C.3: Retard moyen et part des retards supérieurs à deux jours en fonction du niveau d'appel/de réservation

SCÉNARIO 1		Retard moyen (j)	AS-IS			TO-BE		
Listes des clients urgentes/contrat	Niv. d'appels/de réservation		toutes les commandes	commandes urgentes	commandes non urgentes	toutes les commandes	commandes contrat	commandes classiques
1	8%		1,7	1,0	1,7	1,7	0,8	1,8
1, 2	16%		1,7	1,0	1,8	1,6	0,9	1,7
1, 2 et 5	31%		1,7	1,1	2,0	1,6	0,9	1,9
1, 2, 5 et 6	46%		1,7	1,0	2,2	1,5	0,9	2,1
1, 2, 5, 6 et 7	52%		1,8	1,1	2,5	1,6	0,9	2,4
1, 2, 5, 6, 7 et 9	58%		1,7	1,2	2,4	1,5	1,0	2,3
1, 2, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	66%		1,7	1,3	2,4	1,5	1,0	2,4
1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	75%		1,7	1,5	2,4	1,6	1,3	2,4
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	90%		1,7	1,7	2,5	1,5	1,4	2,5
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 12	96%		1,7	1,7	3,1	1,5	1,4	3,0
SCÉNARIO 1		Retard > 2 j.	AS-IS			TO-BE		
Listes des clients urgentes/contrat	Niv. d'appels/de réservation		toutes les commandes	commandes urgentes	commandes non urgentes	toutes les commandes	commandes contrat	commandes classiques
1	8%		15,4%	0,0%	16,8%	15,0%	0,0%	16,3%
1, 2	16%		15,1%	0,0%	18,0%	14,4%	0,0%	17,2%
1, 2 et 5	31%		15,0%	0,8%	21,4%	13,9%	0,0%	20,2%
1, 2, 5 et 6	46%		13,4%	0,7%	24,2%	12,6%	0,0%	23,3%
1, 2, 5, 6 et 7	52%		11,7%	0,9%	23,4%	11,2%	0,1%	23,3%
1, 2, 5, 6, 7 et 9	58%		10,6%	2,0%	22,6%	10,4%	1,0%	23,4%
1, 2, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	66%		10,9%	3,9%	24,6%	9,7%	2,3%	24,1%
1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	75%		10,1%	5,2%	24,9%	8,9%	3,5%	25,2%
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 et 12	90%		10,2%	8,4%	26,3%	9,1%	7,2%	26,4%
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 12	96%		13,2%	12,3%	34,2%	11,4%	10,5%	32,8%



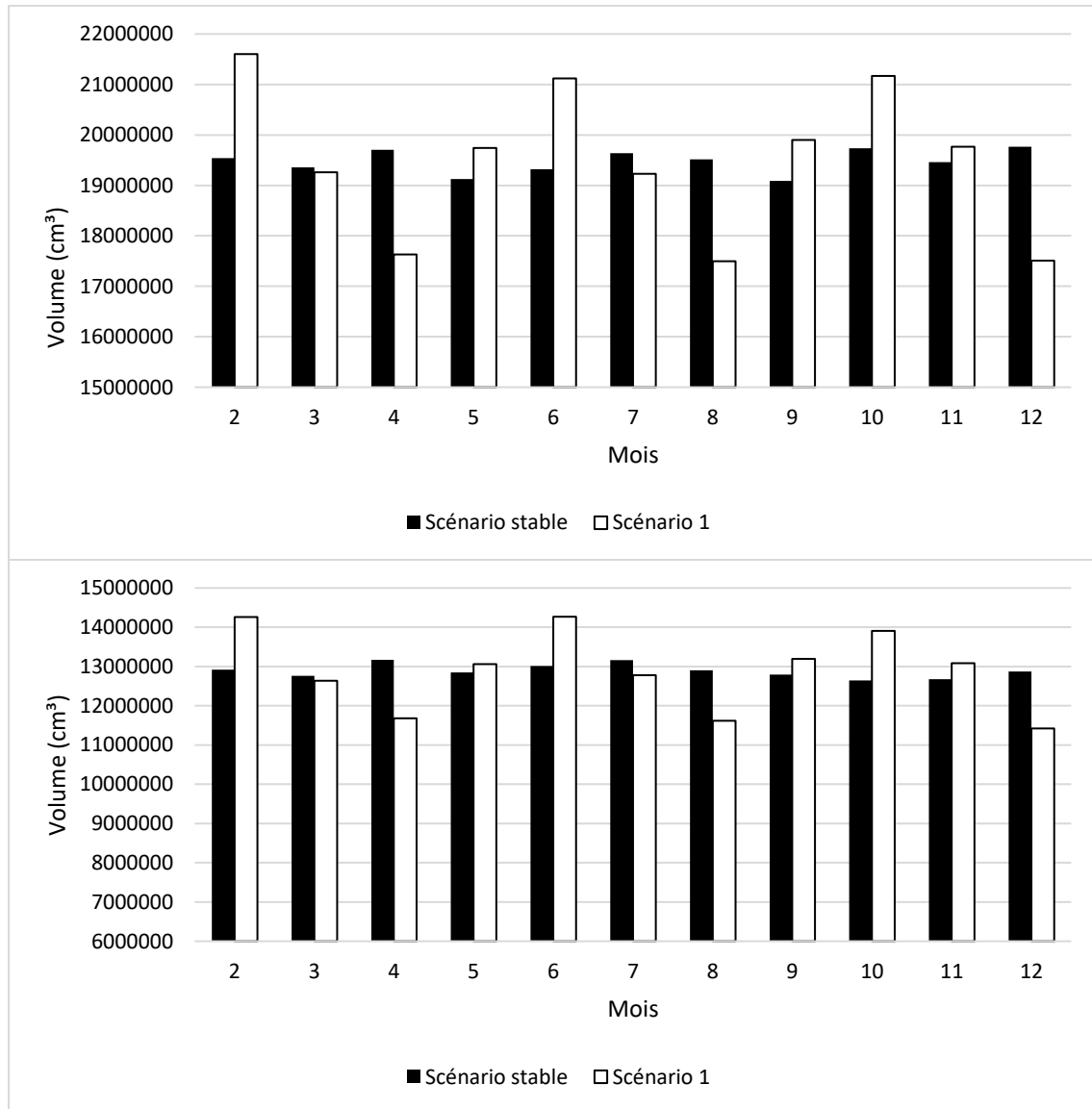


Figure C.1: Volume reçu global et des commandes urgentes



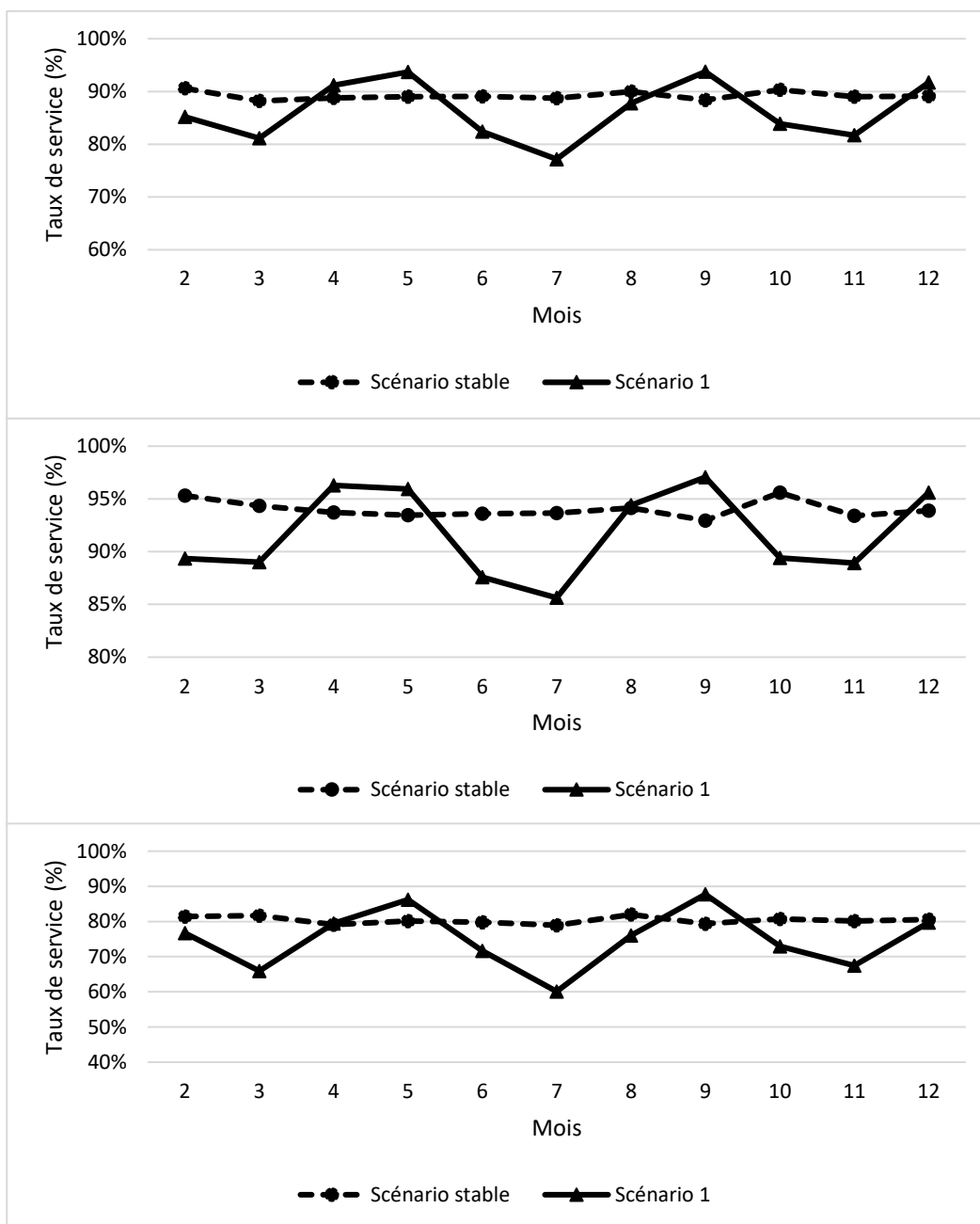


Figure C.2: Taux de service avec le modèle AS-IS en fonction d'une demande stable et variable



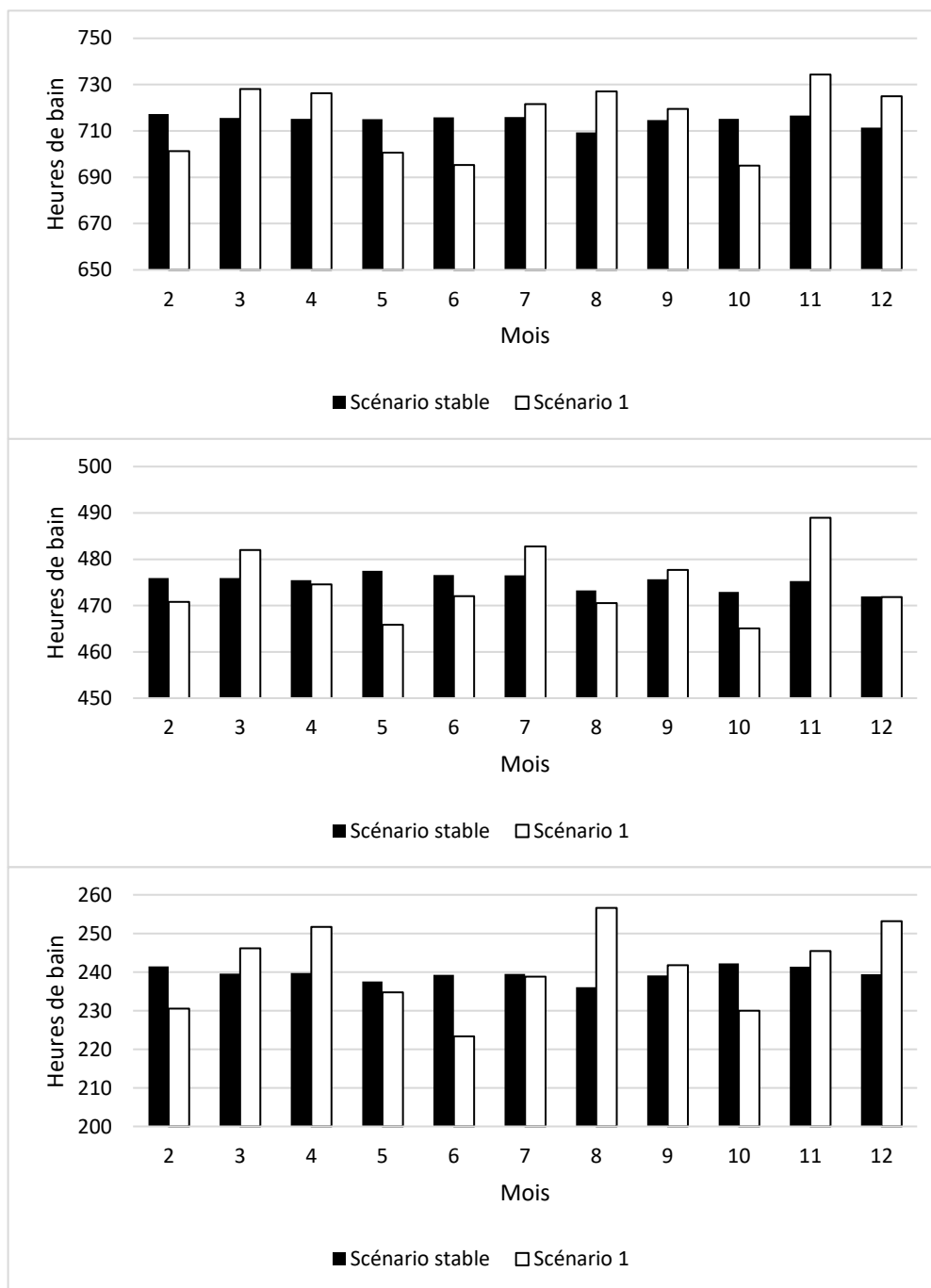


Figure C.3: Nombre d'heures de bain avec le modèle AS-IS en fonction d'une demande stable et variable



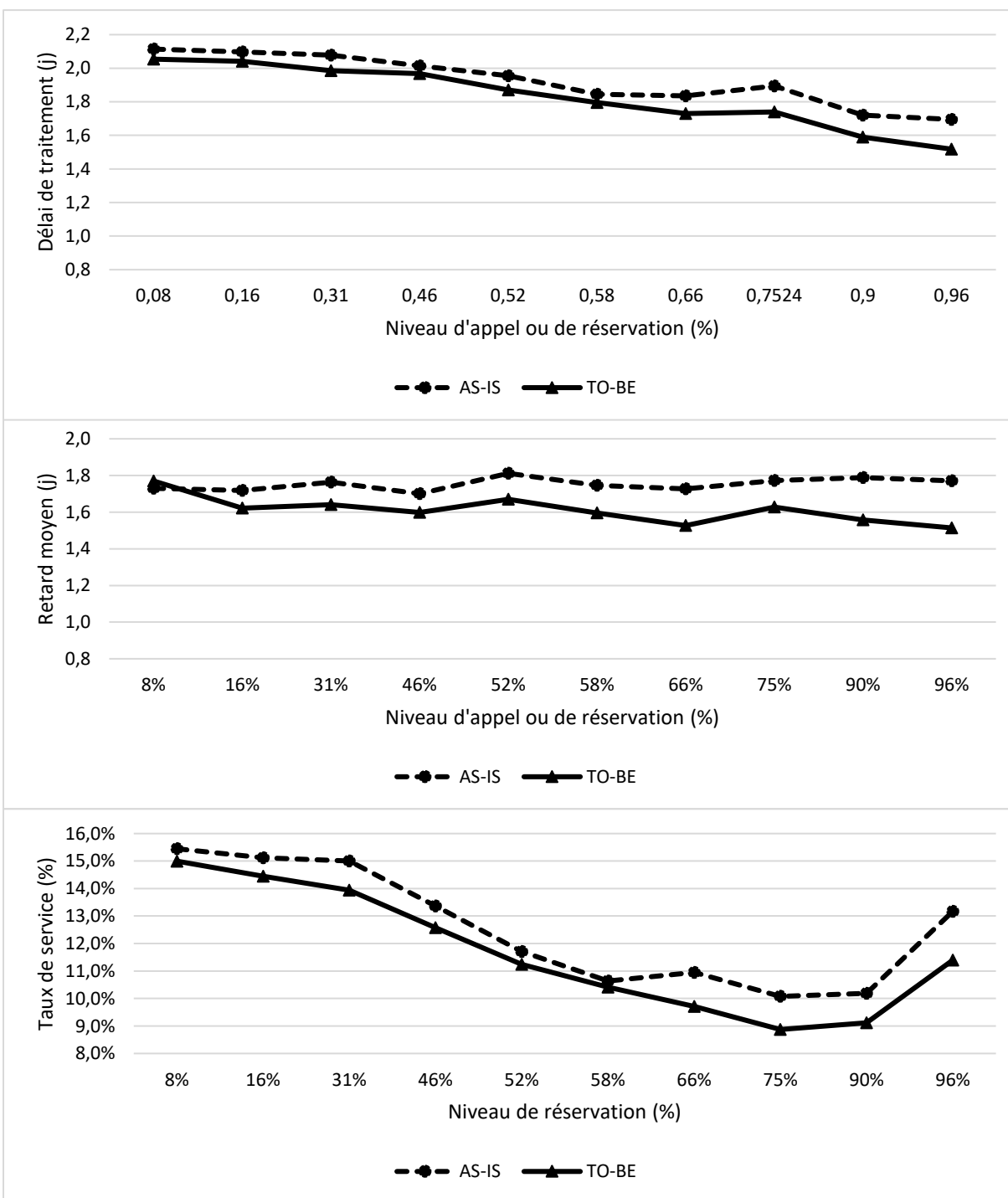


Figure C.4: Délai de traitement, retard moyens et part des retards supérieurs à deux jours en fonction du niveau d'appel/de réservation