



Stratégies d'approvisionnement dans un contexte d'enchères de bois

Mémoire

Raja Ziedi

Maîtrise en génie mécanique
Maître ès sciences (M.Sc.)

Québec, Canada

© Raja Ziedi, 2016

Stratégies d'approvisionnement dans un contexte d'enchères de bois

Mémoire

Raja Ziedi

Sous la direction de :

Nadia Lehoux, directrice de recherche

Luc LeBel, codirecteur de recherche

RÉSUMÉ

La planification de l'approvisionnement forestier est une tâche complexe nécessitant la prise en compte de plusieurs facteurs qui opèrent dans un contexte instable. Au cours des dernières années, des modèles mathématiques ont été développés pour supporter les entreprises forestières dans leur processus de planification de l'approvisionnement. Néanmoins, le nouveau régime de gestion de la ressource établi par le gouvernement implique maintenant un marché libre de bois, ce qui engendre une nouvelle source d'incertitude. Les modèles d'approvisionnement forestier développés deviennent ainsi incomplets.

L'objectif de cette recherche est donc de guider les industriels forestiers dans la planification de leur approvisionnement tout en leur offrant une approche de mise optimale dans le cadre d'enchères scellées au premier prix. Pour ce faire, nous avons exploré différentes stratégies d'approvisionnement regroupant un modèle de base avec approvisionnement via le bois garanti et les enchères, un autre incluant l'achat sur terres privées et un dernier prenant en considération la collaboration entre des partenaires industriels pour la mise aux enchères. Les modèles de planification des opérations forestières élaborés cherchent à maximiser le profit d'une compagnie forestière, tout en sélectionnant la combinaison optimale de secteurs forestiers sur lesquels miser dans les ventes aux enchères.

Les résultats pour le cas étudié montrent qu'une compagnie qui applique l'approche de mise optimale proposée obtient une moyenne de gain plus élevée que les autres soumissionnaires qui n'appliquent pas une telle approche. De plus, lorsque la compagnie forestière intègre dans sa planification l'approvisionnement via des forêts privées, elle peut obtenir un profit plus élevé (augmentation de 5% par rapport au modèle de base). La collaboration s'avère la stratégie d'approvisionnement qui offre le profit le plus élevé pour la compagnie tout en permettant une utilisation plus efficace de la ressource forestière.

TABLE DES MATIERES

RÉSUMÉ	III
TABLE DES MATIÈRES	IV
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES ACRONYMES	X
REMERCIEMENTS	XII
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : CONCEPTS PRÉLIMINAIRES	5
1.1 CHAÎNE DE VALEUR ET CHAÎNE DE CRÉATION DE VALEUR	5
1.2 LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT FORESTIER : DÉFINITION ET FONCTIONNEMENT	7
1.2.1 DÉFINITIONS	7
1.2.2 DYNAMIQUE DE FONCTIONNEMENT DE L'APPROVISIONNEMENT FORESTIER À QUÉBEC	8
1.3 CONCEPT DES ENCHÈRES	17
1.3.1 HISTORIQUE	17
1.3.2 RÔLE ET MODÈLE DES ENCHÈRES	17
1.3.3 LES GRANDES FAMILLES D'ENCHÈRES	18
1.3.4 ÉVOLUTION DES ENCHÈRES	21
1.3.5 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES ENCHÈRES	22
1.4 STRATÉGIES D'APPROVISIONNEMENT	24
1.4.1 L'IMPORTANCE CROISSANTE ET STRATÉGIQUE DES STRATÉGIES D'APPROVISIONNEMENT	24
1.4.2 POURQUOI UNE STRATÉGIE D'APPROVISIONNEMENT?	25
1.4.3 LES STRATÉGIES D'APPROVISIONNEMENT : DÉFINITION ET ÉVOLUTION	26
1.4.4 PROCESSUS D'ÉLABORATION D'UNE STRATÉGIE D'APPROVISIONNEMENT	27
1.4.5 MÉCANISMES D'APPROVISIONNEMENT	28
CHAPITRE 2 : REVUE DE LA LITTÉRATURE	31

2.1 SYSTÈME D'ENCHÈRES DE BOIS POUR L'APPROVISIONNEMENT FORESTIER : REVUE SYSTÉMATIQUE DE LA LITTÉRATURE	31
2.1.1 PLANIFIER LA REVUE DE LITTÉRATURE SYSTÉMATIQUE	32
2.1.2 MENER LA REVUE DE LITTÉRATURE SYSTÉMATIQUE	33
2.1.3 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS STATIQUES DE LA RLS	33
2.1.4 LES ENCHÈRES DU BOIS DANS LE MONDE	35
2.3 L'APPROVISIONNEMENT COLLABORATIF DANS LES ENCHÈRES	49
2.4 SYNTHÈSE	54
<u>CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE ET MODÉLISATION</u>	<u>56</u>
3.1 MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE	57
3.3.1 MODÉLISATION DE LA MISE OPTIMALE POUR DES ENCHÈRES SCELLÉES AU PREMIER PRIX AVEC VALEUR PRIVÉE ET N JOUEURS	60
3.3.2 MODÉLISATION DES STRATÉGIES D'APPROVISIONNEMENT DANS UN CONTEXTE D'ENCHÈRES	70
<u>CHAPITRE 4 : EXPÉRIMENTATION ET RÉSULTATS</u>	<u>83</u>
4.1 DONNÉES DU CAS À L'ÉTUDE	83
4.1.1 LE RÉSEAU FORESTIER DU CAS À L'ÉTUDE ET LES UNITÉS D'AFFAIRES	84
4.2 HYPOTHÈSES DU CAS À L'ÉTUDE	89
4.1.1 HORIZON DE PLANIFICATION	89
4.1.2 LES ENCHÉRISSEURS	89
4.1.3 LES SECTEURS FORESTIERS	90
4.1.4 L'ÉVALUATION PRIVÉE, LE PRIX MINIMUM ET LE PRIX MAXIMUM	90
4.3 DÉMARCHE DE RÉOLUTION MATHÉMATIQUE	92
4.4 RÉSULTATS & INTERPRÉTATION	95
4.4.1 RÉSULTATS SANS STRATÉGIE D'APPROVISIONNEMENT (SCÉNARIO 1)	95
4.4.2 RÉSULTATS AVEC STRATÉGIE D'ACHAT SUR TERRES PRIVÉES (SCÉNARIO 2)	99
4.4.3 RÉSULTATS AVEC STRATÉGIE DE COLLABORATION (SCÉNARIO 3)	102
4.5 ANALYSE VIA LA VARIATION DES PARAMÈTRES DE LA STRATÉGIE DE MISE OPTIMALE	106
<u>DISCUSSION & CONCLUSION</u>	<u>111</u>
<u>ANNEXE A : CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES D'ENCHÈRES DE BOIS ÉTUDIÉS</u>	<u>120</u>
<u>ANNEXE B : ÉVALUATIONS PERSONNELLES- SOUMISSIONS (SCÉNARIO2)</u>	<u>122</u>

ANNEXE C : DONNÉES DES SECTEURS FORESTIERS DANS LA VENTE AUX ENCHÈRES **123**

ANNEXE D : CALCUL DE LA SOUMISSION **124**

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: RÉSUMÉ DES ARTICLES DÉCRIVANT LES ENCHÈRES DE BOIS À TRAVERS LE MONDE	47
TABLEAU 2: ÉVALUATIONS PERSONNELLES ET SOUMISSIONS DES JOUEURS	64
TABLEAU 3: GAINS ET CUMUL DES GAINS DES JOUEURS POUR LES 15 SECTEURS FORESTIERS MIS À L'ENCHÈRE.....	65
TABLEAU 4: LA MOYENNE DES GAINS PAR JOUEUR	66
TABLEAU 5: COEFFICIENT DE RISQUE	67
TABLEAU 6: VOLUME DE BOIS VISÉ PAR LA GARANTIE D'APPROVISIONNEMENT POUR LA SCIERIE 1 ET LA SCIERIE 2..	86
TABLEAU 7: VOLUME DE BOIS ATTRIBUÉS PAR LES ENCHÈRES	86
TABLEAU 8: CAPACITÉ DE PRODUCTION DES SCIERIES.....	88
TABLEAU 9: CAPACITÉ DE PRODUCTION ET PRODUITS DE LA PAPETIÈRE	89
TABLEAU 10: CALCUL DE LA SOUMISSION OPTIMALE	92
TABLEAU 11: DÉCISIONS DU MODÈLE CONCERNANT LES SECTEURS FORESTIERS MIS AUX ENCHÈRES.....	97
TABLEAU 12: DÉCISIONS DU MODÈLE CONCERNANT LES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT	101
TABLEAU 13: PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES D'ENCHÈRES DE BOIS ÉTUDIÉS	121

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: CHAÎNE DE CRÉATION DE VALEUR DE L'INDUSTRIE DES PRODUITS FORESTIERS (D'AMOURS ET AL. 2009) .	6
FIGURE 2: PROCESSUS D'AFFAIRE POUR LA VENTE DE BOIS VIA LES ENCHÈRES	12
FIGURE 3: PROCESSUS DE LA PLANIFICATION FORESTIÈRE.....	14
FIGURE 4: CARACTÉRISTIQUES DES ENCHÈRES POUR CHAQUE TYPE UTILISÉ (SOURCE MILGROM 2004)	21
FIGURE 5: PROCESSUS D'ÉLABORATION D'UNE STRATÉGIE D'APPROVISIONNEMENT (MOORE ET AL. 2007).....	28
FIGURE 6: ÉTAPES D'UNE REVUE DE LA LITTÉRATURE SYSTÉMATIQUE RLS (SELON TRANFIELD ET AL. 2003).....	32
FIGURE 7: NOMBRE D'ARTICLES TROUVÉES PAR ANNÉE.....	34
FIGURE 8: NOMBRE D'ARTICLES PAR PAYS	34
FIGURE 9: SCHÉMATISATION DES ACTEURS DU CAS D'ÉTUDE	56
FIGURE 10: ÉTAPES DE RÉALISATION DE PROJET DE RECHERCHE	59
FIGURE 11: SOUMISSIONS DE JOUEUR 1 EN UTILISANT LES ÉVALUATIONS PERSONNELLES v_2 DE JOUEUR 2	69
FIGURE 12: SOUMISSIONS DE JOUEUR 1 EN UTILISANT LES ÉVALUATIONS PERSONNELLES v_3 DE JOUEUR 3	69
FIGURE 13: ILLUSTRATION DE PROBLÈME DE PLANIFICATION DES APPROVISIONNEMENTS EN BOIS (SCÉNARIO 1).....	74
FIGURE 14: ILLUSTRATION DE PROBLÈME DE PLANIFICATION DES APPROVISIONNEMENTS EN BOIS AVEC STRATÉGIE D'ACHAT SUR TERRES PRIVÉES (SCÉNARIO 2)	78
FIGURE 15: ILLUSTRATION DE PROBLÈME DE PLANIFICATION DES APPROVISIONNEMENTS EN BOIS AVEC STRATÉGIE DE COLLABORATION (SCÉNARIO 3)	81
FIGURE 16: SECTEURS ET RÉPARTITION DES ÉTABLISSEMENTS DU CAS D'ÉTUDE	83
FIGURE 17: SCHÉMATISATION DU RÉSEAU FORESTIER DU CAS L'ÉTUDE	84
FIGURE 18: ÉVOLUTION DE PRIX EN FONCTION DE VOLUME VENDU AUX ENCHÈRES.....	91
FIGURE 19: PRIX ESTIMÉ ET PRIX DE VENTE	91
FIGURE 20: DÉMARCHE DE RÉOLUTION POUR LE MODÈLE 1.....	93
FIGURE 21: DÉMARCHE DE RÉOLUTION POUR LE MODÈLE 2.....	94
FIGURE 22: DÉMARCHE DE RÉOLUTION POUR LE MODÈLE 3.....	95
FIGURE 23: COÛTS ASSOCIÉ AU MODÈLE DE PLANIFICATION FORESTIÈRE SANS STRATÉGIE D'APPROVISIONNEMENT (SCÉNARIO 1).....	96
FIGURE 24: RÉPARTITION DES COÛTS EN % (SCÉNARIO 1)	97
FIGURE 25: POURCENTAGE DE BOIS GARANTIES ET ENCHÈRES (SCÉNARIO 1)	98
FIGURE 26: REVENU, COÛT ET PROFIT DE LA COMPAGNIE (SCÉNARIO 1).....	98
FIGURE 27: COÛTS ASSOCIÉS AU MODÈLE DE PLANIFICATION FORESTIÈRE AVEC STRATÉGIE D'ACHAT SUR TERRES PRIVÉES (SCÉNARIO 2)	99
FIGURE 28: RÉPARTITION DES COÛTS (SCÉNARIO 2)	100

FIGURE 29: POURCENTAGE DE BOIS : GARANTIE+ ENCHÈRES+ TERRES PRIVÉES (SCÉNARIO 2).....	100
FIGURE 30: REVENU, COÛT ET PROFIT DE LA COMPAGNIE (SCÉNARIO 2).....	101
FIGURE 31: COÛTS ASSOCIÉS AU MODÈLE DE PLANIFICATION FORESTIÈRE AVEC STRATÉGIE DE COLLABORATION (SCÉNARIO 3).....	102
FIGURE 32: RÉPARTITION DES COÛTS (SCÉNARIO 3)	103
FIGURE 33: POURCENTAGE DE BOIS (SCÉNARIO 3).....	103
FIGURE 34: REVENU, COÛT ET PROFIT DE LA COMPAGNIE (SCÉNARIO 3).....	104
FIGURE 35: COMPARAISON COÛTS	105
FIGURE 36: COMPARAISON DES PROFITS DE LA COMPAGNIE FORESTIÈRE POUR CHAQUE SCÉNARIO.....	106
FIGURE 37: ÉVOLUTION DE LA SOUMISSION POUR LE SECTEUR 3	107
FIGURE 38: ÉVOLUTION DE LA SOUMISSION POUR LE SECTEUR 4	108
FIGURE 39: ÉVOLUTION DE LA SOUMISSION POUR LE SECTEUR 5	108
FIGURE 40: ÉVOLUTION DE LA SOUMISSION POUR LE SECTEUR 6	109
FIGURE 41: COMPARAISON SOUMISSIONS EN \$	110
FIGURE 42: SOUMISSIONS DE JOUEUR 1 EN UTILISANT LES ÉVALUATIONS PERSONNELLES v_2 DE JOUEUR 2	122
FIGURE 43: SOUMISSIONS DE JOUEUR 1 EN UTILISANT LES ÉVALUATIONS PERSONNELLES v_3 DE JOUEUR 3	122

LISTE DES ACRONYMES

BMMB : Bureau de Mise en Marché du Bois

BPMN : *Business Process Modeling Notation*

BFEC : Bureau du Forestier en chef

CAAF : Contrat d’approvisionnement et d’Aménagement Forestier

DAO : Document d’Appel d’Offre

GA : Garantie d’Approvisionnement

MRNF : Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune

PAFI: Plan d’Aménagement Forestier Intégré

PAFI-O: Plan d’aménagement forestier intégré Opérationnel

PAFI-T: Plan d’Aménagement Forestier Intégré Tactique

PAIF: Plan Annuelle d’Interventions Forestières

PGAF: Plan Général d’Aménagement Forestier

PQAF: Plan Quinquennal d’Aménagement Forestier

PRAN : Programmation Annuelle

A mon cher père

À ma mère

À mon frère

À mon cher mari

A ma douce fille « Yasmine »

REMERCIEMENTS

Je voudrais adresser en premier lieu toute ma gratitude à ma directrice de recherche, Mme Nadia Lehoux, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. J'aimerais aussi remercier mon co-directeur, M. Luc Lebel dont la critique m'a permis d'augmenter considérablement la qualité du travail. Un grand merci pour eux de m'avoir accordé toute leur confiance et consacré tout le temps nécessaire pour enrichir et réussir ce travail.

Je tiens à remercier aussi tous les professionnels de recherche dans le laboratoire de FORAC, particulièrement M. Philippe Marier pour son aide précieuse et son écoute.

Mes remerciements s'adressent, également, à mes collègues de bureau pour l'ambiance de travail assez encourageante qui a fait que ce projet progresse dans les délais.

Finalement, j'exprime ma gratitude à tout le personnel du Consortium de recherche FORAC pour leur accueil chaleureux.

Introduction

En tant que système de production naturel et durable, le secteur forestier peut constituer un module de base sur lequel construire un avenir économique permanent. En effet, l'activité forestière contribue significativement à l'expansion de la croissance économique. Le Canada est notamment le deuxième exportateur de produits forestiers bruts en importance dans le monde, après les États-Unis (Ressource Naturelles Canada 2014). Le secteur forestier figure parmi les cinq principaux acteurs qui contribuent aux échanges commerciaux nets du Canada. Plus particulièrement dans la province de Québec, les forêts couvrent plus de 761 100 km², soit près de la moitié du territoire québécois. L'industrie forestière québécoise se distingue sur la scène internationale grâce à son dynamisme, ses innovations et ses bonnes performances financières. L'ensemble de la filière de bois a cependant d'importants défis à relever. Au cours des dernières années, elle a connu des difficultés majeures et sa compétitivité a été mise à l'épreuve. Plusieurs usines de transformation ont dû fermer leurs portes temporairement ou définitivement en raison de la hausse croissante de la compétition internationale et du ralentissement de l'activité économique américaine. Pour faire face à un tel contexte et dans un esprit de réforme de l'industrie forestière québécoise, le gouvernement veille à modifier et à mettre à jour un régime forestier qui correspond le mieux à l'évolution du marché tout en favorisant la compétitivité du secteur dans le monde. Ces évolutions ont mené à un nouveau régime forestier entré en vigueur le 1^{er} avril 2013 qui a touché plusieurs aspects à savoir la planification forestière, le règlement sur l'aménagement durable des forêts, la gestion environnementale, l'aménagement éco systématique, la stratégie d'aménagement durable des forêts, la mise en marché de bois et les garanties d'approvisionnement.

Ce travail s'intéresse à la chaîne d'approvisionnement forestier de laquelle débute toute chaîne de création de valeur des produits issus du bois. Plus précisément, notre champ d'intérêt repose sur la planification des opérations forestières afin d'approvisionner efficacement les usines de transformation du bois. Auparavant, le bois provenant de la forêt publique était entièrement alloué aux compagnies forestières via des contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF) qui couvraient une période de

25 ans et garantissaient aux industriels 100 % de leurs besoins en bois. Toutefois, avec le nouveau régime forestier, le gouvernement doit procéder à une mise aux enchères électroniques du bois de la forêt publique et au remplacement des contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier par une garantie d'approvisionnement (GA) d'une durée de 5 ans. Les industriels n'ont ainsi droit qu'à un maximum de 75 % de la ressource forestière. Le besoin restant doit être transigé via un mécanisme d'enchère. De telles enchères ont lieu plusieurs fois durant l'année et un nombre minimum de trois entreprises doit miser pour que l'enchère soit gagnée. Le bois se transige par enchères dans plusieurs autres pays notamment en Australie, au Canada, aux États-Unis, en France, en Italie, en Irlande, au Japon, en Roumanie et en Russie (Marty & Préget 2010). En effet le recours aux enchères pour acheter et vendre les produits est aujourd'hui une partie importante de la chaîne d'approvisionnement dans de nombreuses régions dans le monde (Banerji & Meenakshi 2004). La dynamique de fonctionnement et l'utilisation d'un tel système diffère toutefois d'un pays à l'autre. Un pays comme les États-Unis a une longue expérience dans l'utilisation d'un tel mécanisme. Ce n'est pas le cas pour la province de Québec qui vient juste de mettre en place ce nouveau système, apportant ainsi des nouveaux défis pour les industriels forestiers qui font face à une certaine incertitude au niveau de leurs besoins d'approvisionnement. Ce nouveau contexte nécessite donc de réfléchir sur des modèles de mises et de stratégies d'approvisionnement permettant aux entreprises forestières de sécuriser leur besoin en matière ligneuse. Moore et al. (2007) définissent la stratégie d'approvisionnement comme : « [...] un moyen proactif pour l'acquisition et la gestion d'un groupe de biens ou de services ». L'objectif de nos recherches est donc d'explorer différentes stratégies d'approvisionnement et de mesurer leur impact sur la planification des activités d'une compagnie forestière dans un contexte où 25% du bois québécois se vend via des enchères électroniques. Plus précisément, il s'agit de répondre à la question suivante : *Comment planifier les opérations de la compagnie forestière lorsqu'une partie du bois nécessaire est incertaine? Quelles stratégies mettre de l'avant pour aller chercher le manque à gagner?*

Pour ce faire, nous avons adopté la méthodologie suivante : Nous avons d'abord réalisé une revue systématique de la littérature portant sur les enchères de bois partout dans le monde.

Cette revue nous a permis de comprendre la dynamique de fonctionnement des systèmes d'enchères et la façon dont ils sont utilisés pour transiger la ressource forestière. Nous avons ensuite adapté le modèle de mise optimale proposé par (Tas et *al.* 2012) pour déterminer la meilleure soumission dans le cas d'enchères scellées au premier prix avec n joueurs. Cette approche de mise a pour but d'assister les industriels forestiers dans leur processus de mise dans les ventes de bois aux enchères et de leur fournir un modèle mathématique pour calculer leur soumission d'une façon rationnelle. Les résultats ont montré que le joueur qui applique cette stratégie de mise a toujours la moyenne de gain la plus élevée. Dans un troisième temps, nous avons développé un modèle de planification des opérations forestières qui maximise le profit d'une compagnie forestière, en sélectionnant la combinaison optimale des secteurs forestiers sur lesquels miser. Ce modèle a été élaboré afin de comparer trois stratégies d'approvisionnement différentes: 1- Le contexte actuel d'approvisionnement sans stratégie alternative (stratégie de base 1); 2- Planification de l'approvisionnement avec stratégie d'achat sur terres privées (stratégie 2); 3- Planification de l'approvisionnement avec collaboration entre les partenaires de l'industrie (stratégie 3). Pour chaque stratégie, nous avons mis en évidence pour quels prix et volumes d'approvisionnement chaque façon de faire permet de maximiser les profits tout en tenant compte des contraintes opérationnelles de la compagnie forestière. Ainsi, le modèle avec stratégie d'achat sur terres privées a permis une augmentation de 5% dans le profit de la compagnie comparativement à un approvisionnement se limitant à la garantie et aux enchères. Le modèle explorant un cadre de collaboration entre la compagnie forestière objet de notre recherche et d'autres partenaires a aussi montré des résultats prometteurs.

Cette recherche aura ainsi contribué à mettre en lumière les façons de transiger la ressource forestière dans le monde, à proposer un mécanisme de mise optimale lorsque plusieurs enchérisseurs rationnels convoitent le même bien, et à proposer un outil d'aide à la planification lorsqu'une partie de l'approvisionnement est incertain. Une telle contribution est ainsi non seulement importante pour le milieu forestier, mais elle pourra certainement être reprise dans des travaux futurs pour mieux comprendre et explorer différentes stratégies de mise aux enchères de même que leur impact sur l'ensemble de la chaîne de valeur forestière.

Ce mémoire est divisé de la façon suivante : Dans un premier temps, nous présentons les concepts préliminaires liés à notre projet à de recherche en nous attardant sur certaines notions importantes comme la chaîne de création de valeur forestière et l'essor de stratégies d'approvisionnement. Dans un deuxième temps, une revue systématique de la littérature portant sur des pratiques liées à l'utilisation de systèmes d'enchères pour l'allocation de bois dans le monde est proposée. Cette partie sera complétée par une revue des formes de collaboration dans les enchères électroniques. Par la suite, nous décrivons notre étude de cas et la méthodologie de travail suivie. Le chapitre suivant présente les données, les hypothèses utilisées pour le cas à l'étude, la démarche de résolution et l'analyse des résultats. Une conclusion vient clore ce mémoire, ouvrant sur d'autres perspectives de recherche.

Chapitre 1 : Concepts préliminaires

Ce premier chapitre a pour objectif de présenter les concepts préliminaires qui touchent notre projet de recherche. Nous décrivons dans un premier temps la chaîne de création de valeur forestière, en mettant l'accent sur l'approvisionnement forestier qui est un maillon très important de la chaîne. Nous introduisons ensuite le concept des enchères, les formes existantes et les paradigmes. Nous clôturons cette partie avec l'essor des stratégies d'approvisionnement.

1.1 Chaîne de valeur et chaîne de création de valeur

Le concept **de chaîne de valeur** a été introduit par Michael Porter dans son ouvrage « l'avantage concurrentiel » (Porter 1986). La chaîne de valeur permet de décomposer l'activité de l'entreprise en séquence d'opérations élémentaires et d'identifier les sources d'avantages concurrentiels potentiels. Étant donné l'interaction de ces activités au sein de la chaîne, la façon dont l'entreprise maîtrise l'une d'elles influencera le coût ou la performance d'une autre (Porter 1982).

Une chaîne de création de valeur est un cas particulier de la chaîne de valeur de Porter appliquée aux entreprises qui fabriquent et distribuent des produits physiques (Shapiro 2007). Elle peut être définie comme un réseau d'unités d'affaires géographiquement dispersées où la matière première et les produits intermédiaires et finis sont acquis, transformés, entreposés ou vendus. Des liaisons de transport relient les installations et permettent la circulation des produits vers les clients finaux qui font donc partie intégrante de la chaîne (Stadtler 2005).

Chaîne de création de valeur de l'industrie des produits forestiers

Une chaîne ou un réseau de création de valeur dans l'industrie des produits forestiers inclut l'ensemble des entreprises et des unités d'affaires intervenant dans l'approvisionnement, la production, la distribution, la vente et la récupération d'un produit pour un marché. Elle peut inclure les entreprises responsables de l'exploitation forestière, du sciage, de la production à valeur ajoutée, des pâtes et papiers, etc. (D'Amours et *al.* 2009).

La Figure 1 ci-dessous illustre de façon schématique le grand réseau de création de valeur de l'industrie des produits forestiers. Il comprend plusieurs chaînes principales. Les plus

importantes sont celles des pâtes et papiers, celle des produits en bois, incluant le bois d'œuvre et les produits d'ingénierie, ainsi que celle de la bioénergie. Toutes ces chaînes sont fortement interdépendantes au niveau de la forêt.

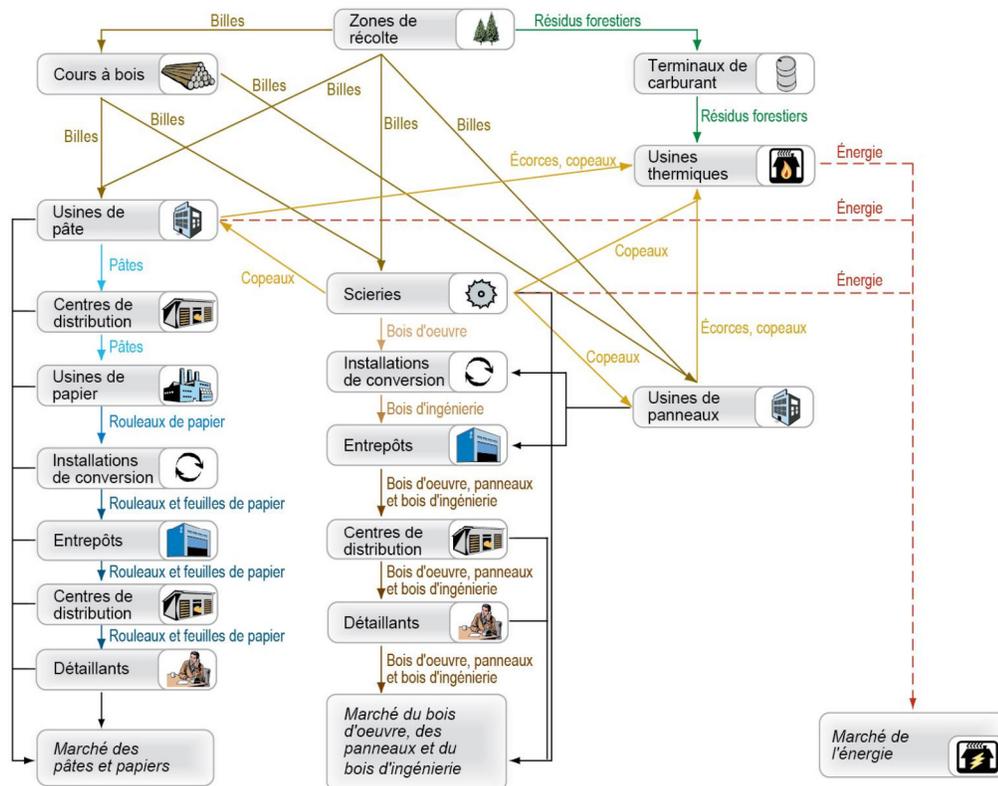


Figure 1: Chaîne de création de valeur de l'industrie des produits forestiers (D'Amours et al. 2009)

L'industrie forestière s'efforce constamment de maximiser les avantages le long de la chaîne de valeur de l'ensemble de la production. Le premier maillon de la chaîne porte sur les études, l'analyse de données et les autres méthodes permettant de comprendre ce qu'il y a dans la forêt : les types d'arbres disponibles, leur âge et la qualité du bois, leur emplacement, etc. Le deuxième maillon vise la récolte du bois et la livraison des billes pour que les bons arbres se rendent aux scieries qui sont le plus en mesure de les transformer en produit final désiré. Suit le procédé de fabrication secondaire : transformer le bois ou la pâte en différentes sortes de produits de grande valeur, allant des meubles aux maisons préfabriquées. Le dernier maillon de la chaîne est la commercialisation des produits.

L'objectif visé par cette chaîne complexe est de maximiser l'efficacité, ce qui permettra de réduire les coûts et d'augmenter la valeur des produits d'un maillon à l'autre. Pour ce faire, l'ensemble des intervenants doit miser sur la synchronisation de leurs activités, ceci en partageant les bonnes informations et en développant une bonne planification au niveau de l'approvisionnement, la production et la distribution.

Le réseau de création de valeur des produits forestiers est très particulier par rapport aux autres secteurs industriels. Une des plus importantes particularités concerne la divergence de la chaîne d'approvisionnement. Ceci veut dire que les produits d'une première étape de transformation pourront être eux-mêmes une matière première pour une multitude d'autres transformations (par exemple les copeaux issus du sciage et qui sont des matières premières pour les usines de pâtes et les usines thermiques). Contrairement au secteur manufacturier traditionnel, les processus de transformation des produits forestiers sont aussi divergents. C'est le cas par exemple du tronçonnage et du sciage, le processus de découpe faisant en sorte qu'à chaque fois qu'un arbre est tronçonné, ou qu'une bille est sciée, on obtient des billes de caractéristiques différentes (longueur diamètre, qualité, etc.). Cette divergence dans l'approvisionnement et au niveau du processus de transformation rend difficile l'application d'un seul système de production, d'où la variété de systèmes de fabrication qui mène à une large gamme et variété de produits. Tout ça conduit à différents systèmes de vente et à des profils de demande des clients très variés.

Les horizons de planification dans l'industrie des produits forestiers sont aussi différents du milieu industriel traditionnel. Ainsi l'horizon stratégique couvre de très nombreuses années, contrairement à d'autres secteurs où la planification stratégique s'avère plus courte en termes de temps (Roshani et *al.* 2015).

1.2 La chaîne d'approvisionnement forestier : Définition et fonctionnement

1.2.1 Définitions

La chaîne de création de valeur de l'industrie des produits forestiers débute en forêt par un **réseau d'approvisionnement** constitué de **l'aménagement** et des **opérations forestières**. L'objectif de l'approvisionnement est de fournir une usine en matière première afin de permettre à l'entreprise de répondre aux demandes de ses clients. Cette activité a un impact direct sur la performance, les volumes et la qualité du bois (D'Amours et *al.* 2007).

Uusitalo (2005) définit **l'approvisionnement forestier** comme un procédé intégrant un certain nombre d'activités techniques, commerciales et logistiques, dont l'objectif est de livrer la matière ligneuse aux usines tout en considérant simultanément les caractéristiques importantes des procédés de transformation et celles du produit final.

Les **opérations forestières** sont définies comme « l'ensemble des travaux se rapportant à la récolte de la matière ligneuse et aux travaux sylvicoles » (Côté 2003).

Buongiorno & Gilless (2003) définissent **l'aménagement forestier** comme « l'art et la science de prendre des décisions en considérant l'organisation, l'utilisation et la conservation des forêts et des ressources qu'elles contiennent ».

Dans la littérature, les concepts d'aménagement et d'approvisionnement sont souvent utilisés sans distinction. Cependant, comme l'approvisionnement vise à fournir à l'entreprise les ressources nécessaires à ses activités, on peut considérer qu'il se fait par le biais de deux activités distinctes : l'aménagement forestier et les opérations forestières. Ces activités sont fortement reliées et la distinction entre les deux est parfois floue. L'aménagement forestier concerne plus spécifiquement la planification des activités en lien avec les différents intervenants externes : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), Bureau du Forestier en chef (BFEC), autres bénéficiaires, etc. La planification des travaux forestiers est bien sûr incluse et l'aménagiste travaille ainsi de concert avec le responsable des opérations forestières qui s'assure que les différents plans permettent la réalisation des opérations forestières sur le terrain.

1.2.2 Dynamique de fonctionnement de l'approvisionnement forestier à Québec

Le mode d'approvisionnement des bois au Québec a connu récemment un changement suite à la mise en place d'un libre marché de bois. Dans cette sous-section, nous décrivons dans un premier lieu l'approvisionnement forestier avant la mise en place des ventes aux enchères. Puis nous abordons la deuxième partie de l'approvisionnement forestier après la mise en place des ventes aux enchères où nous nous attardons sur la description du système d'enchères et sur le processus d'affaire pour la mise en marché du bois par le BMMB.

1.2.2.1 l'approvisionnement forestier avant la mise en place des ventes aux enchères

Avant le système des enchères, le mode d'attribution du bois reposait sur les contrats d'approvisionnements et d'aménagement forestier (CAAF). Ces contrats, réservés aux propriétaires ou aux exploitants d'usines de transformation du bois, permettaient de récolter chaque année un volume de bois déterminé. Ce volume ainsi attribué était calculé en tenant compte des besoins de l'usine et de la possibilité qu'avait le détenteur du CAAF de s'approvisionner via d'autres sources, telles les forêts privées. Le bénéficiaire d'un CAAF devait respecter les normes d'intervention prescrites pour protéger l'environnement forestier. Il devait également effectuer les traitements sylvicoles requis pour atteindre les rendements fixés par le ministère.

Le CAAF couvrait une période de 25 ans, mais il était révisé tous les cinq ans. Il était alors prolongé pour une autre période quinquennale si le bénéficiaire avait respecté la loi et ses engagements. Chaque bénéficiaire de CAAF devait élaborer son ***plan général d'aménagement forestier*** (PGAF) avec la collaboration des municipalités régionales, des communautés autochtones, des gestionnaires de territoires fauniques concernés, etc. Ce plan devait notamment expliquer la stratégie d'aménagement que le bénéficiaire entendait mettre en œuvre. Il devait aussi inclure la liste des travaux qu'il prévoyait réaliser sur une période de cinq ans et le calendrier qu'il avait établi pour ce faire. Les plans généraux étaient ensuite mis à la disposition du public, à des fins de consultation, avant d'être soumis au ministre en vue de leur approbation. En plus de son plan général d'aménagement, le bénéficiaire de CAAF devait aussi préparer des ***plans annuels d'interventions forestières*** (PAIF), dans lesquels il décrivait les travaux qu'il devait réaliser pendant la période couverte. Pour être approuvés par le ministère, ces plans devaient évidemment être conformes au plan général.

1.2.2.2 l'approvisionnement forestier après la mise en place des ventes aux enchères

Le nouveau régime forestier avec enchères est entré en vigueur le 1^{er} avril 2013. Avec ce régime, le gouvernement doit procéder à une mise aux enchères des bois en place et au

remplacement des contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF) par une garantie d'approvisionnement GA d'une durée de 5 ans. Les industriels n'ont droit qu'à un certain pourcentage des volumes demandés (jusqu'à un maximum de 75%). La partie restante peut être obtenue via le mécanisme d'enchère. Un nombre minimum de trois entreprises doit miser pour une enchère. Celle qui gagne doit récolter le bois en deux ans. Avec les CAAF, les entreprises devaient réaménager la forêt coupée. Ce n'est plus le cas avec les enchères. Le gouvernement s'en charge lui-même. Les entreprises qui gagnent une enchère doivent de plus obligatoirement transformer le bois au Québec.

La garantie d'approvisionnement n'assure donc plus aux industriels la totalité de leurs besoins en approvisionnement des bois, mais en contrepartie, il y a des avantages visés par ce nouveau régime :

- améliorer l'accès aux bois des forêts de l'état;
- favoriser l'efficacité, l'innovation et la compétitivité des entreprises;
- favoriser une meilleure utilisation de la ressource;
- obtenir un marché de référence pour établir la valeur du bois de la forêt publique;
- obtenir une tarification équitable des bois sous garantie;
- etc.

Description du système d'enchères (BMMB 2013)

Le type d'enchère utilisé par le Bureau québécois de mise en marché des bois (BMMB) lors des ventes de bois est celui d'enchère fermée au premier prix. Les enchérisseurs doivent soumettre leur mise de façon confidentielle sous forme d'enveloppes scellées avant la fin de la période d'appel d'offres, et celui ayant soumis la mise la plus élevée l'emporte. Ceci se fait à travers des soumissions électroniques. Une fois déposée, chaque soumission électronique est cryptée jusqu'à la date de fin de l'appel d'offres. Le processus de soumission électronique est donc entièrement sécurisé. Il est possible de soumissionner par courrier ou en déposant la soumission en personne. Le BMMB procède aux ventes de bois par vague, c'est-à-dire que plusieurs secteurs sont offerts simultanément dans l'ensemble du Québec. Il y a un minimum de trois vagues de ventes annuellement et deux modalités d'application d'enchères sont utilisées : *l'Enchère de base* qui est une enchère fermée au premier prix pour un seul secteur et l'enchérisseur gagnant est celui qui a soumis le montant total le plus élevé, et *l'Enchère combinatoire* qui est une enchère fermée au

premier prix où plusieurs produits sont offerts simultanément. Dans ce cas, il est possible de faire une mise pour chacun des produits ou une mise combinée pour la totalité des produits offerts.

Le BMMB définit quatre formes de vente possible des bois présentées ci-dessous :

- ***vente de bois sur pied selon mesurage*** : l'enchérisseur mise sur un volume de bois pour lequel il devra assurer les travaux de construction de chemins forestiers, de récolte et de transport et pour lequel il sera facturé sur la base des volumes mesurés après récolte ;
- ***vente de bois sur pieds selon inventaire*** : l'enchérisseur mise sur un volume de bois pour lequel il devra assurer les travaux de construction de chemins forestiers, de récolte et de transport et pour lequel il sera facturé selon le montant total misé, indépendamment des volumes récoltés;
- ***vente de bois récoltés*** : l'enchérisseur mise sur un volume de bois dont la récolte est assurée par le BMMB, mais pour lequel il devra assurer le transport et sera facturé selon le mesurage;
- ***vente de bois livrés à destination*** : l'enchérisseur mise sur un volume de bois dont la récolte et le transport sont assurés par le BMMB et sera facturé selon le volume mesuré.

Afin de favoriser la révélation de la vraie valeur de marché et de limiter les risques de collusion, le prix de réserve établi par le BMMB n'est pas divulgué. Dans certaines situations, un « prix estimé » sera toutefois affiché, correspondant à la meilleure estimation faite par le BMMB du prix qu'il s'attend pour l'ensemble des bois d'un secteur de vente qui pourront être récoltés. Lorsqu'il y a peu de concurrence, le BMMB se réserve le droit de ne pas publier ce prix.

Processus d'affaire pour la mise en marché du bois par le BMMB

Une schématisation du processus d'affaire pour la vente des bois aux enchères est proposée dans ce qui suit. Pour ce faire, nous avons utilisé un système de notation graphique standard développé par l'entreprise *Business Process Management Initiative*.

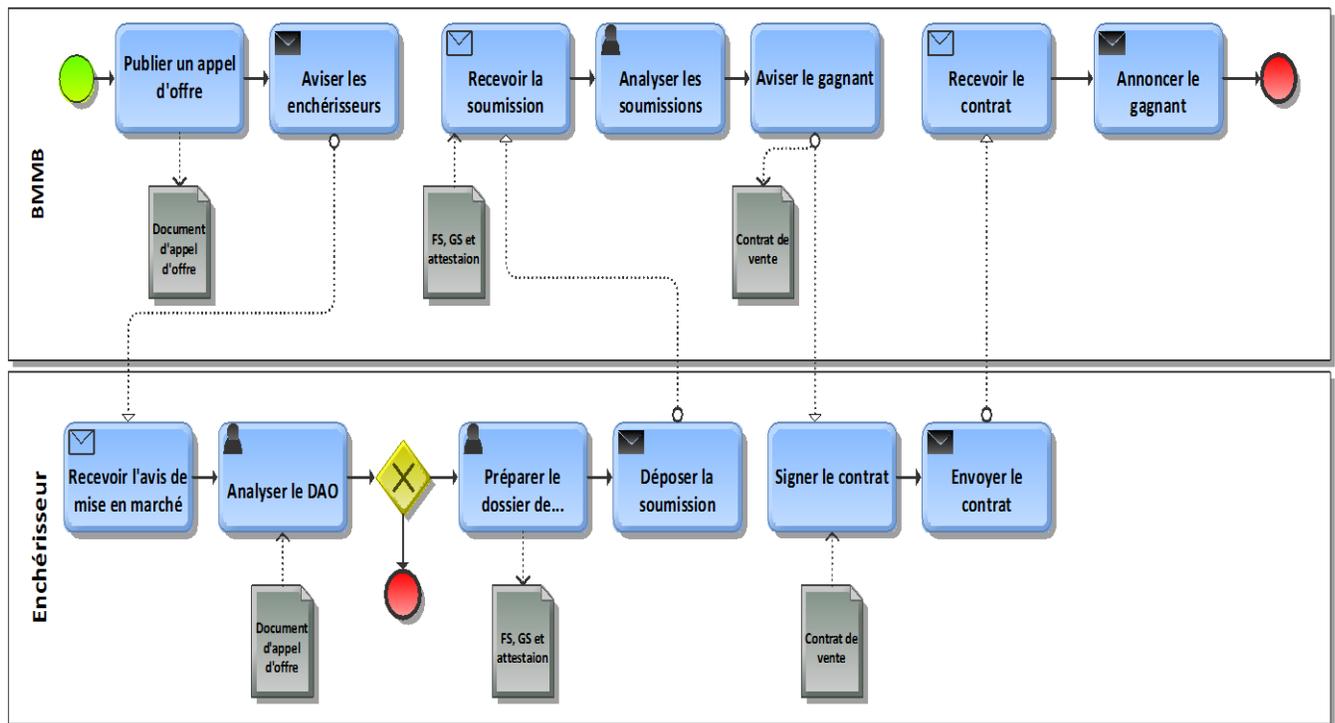


Figure 2: Processus d'affaire pour la vente de bois via les enchères

Description du processus de vente

Le BMMB déclenche le processus de ventes de bois par un appel d'offres public qui se traduit sous la forme d'un document appelé *Document d'Appel d'Offres (DAO)*. Ce document contient toutes les informations nécessaires pour le secteur ou les secteurs qui font l'objet de la vente (par exemple la description de la vente, le volume de bois estimé par essence et qualité, le devis d'intervention qui détermine toutes les modalités d'opération associées au secteur de vente comme la localisation, la description des travaux, les chemins forestiers, etc.) et d'autres renseignements utiles pour les participants comme la date limite pour la réception des soumissions, le nom du responsable de la vente représentant le BMMB, etc. Le DAO contient aussi d'autres fichiers comme le fichier du bordereau de prix et les données d'inventaires recueillies. Plusieurs autres annexes sont jointes au DAO, leur nombre et type variant selon le type de vente (ex : attestation relative à l'absence de collusion, formulaire de soumission, prescriptions sylvicoles, etc.).

Une fois les participants ayant en main le DAO, les acheteurs intéressés envoient leurs soumissions en réponse à l'appel d'offres. La soumission présentée par l'enchérisseur doit comprendre les documents suivants : formulaire de soumission, incluant le bordereau de prix, garantie de soumission et attestation relative à l'absence de collusion.

Le BMMB de son côté procède à l'analyse de différentes soumissions reçues (par voie électronique, par poste ou par personne). Le soumissionnaire ayant offert le montant le plus élevé et qui doit être supérieur au prix de réserve gagne le secteur de vente. Ce dernier sera informé par un responsable du BMMB soit par voie téléphonique, soit par courriel. Une fois la procédure de signature de contrat de vente de bois achevée entre les deux parties, le BMMB annonce sur le site internet les gagnants et leurs mises totales.

Processus de planification forestière

Il est important de mentionner que dans le processus de planification forestière du nouveau régime, le plan général d'aménagement forestier et le plan annuel d'intervention forestière sont remplacés par le plan d'aménagement forestier intégré (PAFI).

La planification forestière comprend l'analyse du territoire, l'élaboration de la stratégie, le calcul des possibilités forestières, la détermination des possibilités forestières, l'attribution des volumes de bois, la mise en œuvre de la stratégie ainsi que la réalisation des suivis et des bilans (Figure 3).



Figure 3: processus de la planification forestière

Source : Bureau de forestier en Chef, Manuel des possibilités forestières 2013-2018

Les étapes de la planification forestière telles qu’illustrées à la Figure 3 sont décrites brièvement ci-dessous :

1^{ère} étape : Analyse du territoire

Dans cette étape, on identifie les zones sensibles dans le territoire, les sites d’intérêts et les habitats fauniques à protéger ainsi que les zones à fort potentiel forestier pour la production de la matière ligneuse.

2^e étape : Élaboration de la stratégie

À partir des différents constats faits lors de la phase d’analyse du territoire, la stratégie se définit par l’ensemble des interventions planifiées dans l’espace et dans le temps pour répondre aux enjeux de protection et de mise en valeur visés. Il y a une série d’étapes à suivre lors de l’élaboration de la stratégie d’aménagement qui se définit comme suit :

- Définition des valeurs, objectifs, indicateurs et cibles d’aménagement ;
- Découpage territorial ;
- Choix des moyens d’aménagement ;
- Élaboration de la stratégie sylvicole.

Une fois que la stratégie d'aménagement est prête, elle sera consignée dans le plan d'aménagement forestier intégré tactique (PAFI-T).

Le PAFI-T est réalisé pour une période de cinq ans. Ce plan présente notamment les objectifs d'aménagement durable des forêts et la stratégie d'aménagement forestier retenue pour assurer le respect des possibilités forestières et l'atteinte de ces objectifs.

3^e étape : Calcul des possibilités forestières

La possibilité forestière appelée aussi la possibilité annuelle de coupe à rendement soutenu est définie comme étant le volume maximum de bois qu'on peut prélever annuellement et à perpétuité, dans une aire donnée, sans en réduire la capacité de production (Ressource naturelle Québec, consultée en février 2014).

Le calcul de possibilité forestière est un exercice de modélisation. En projetant les effets à long terme de la stratégie d'aménagement sur différents attributs forestiers, il permet d'identifier les moyens les plus efficaces pour répondre aux objectifs d'aménagement. En outre, par ses analyses d'impact et de sensibilité, le calcul permet d'identifier les décisions d'aménagement et les incertitudes les plus critiques à considérer pour l'aménagement durable des forêts. Les résultats du calcul sont soumis à une révision externe.

Remarque : L'élaboration de la stratégie d'aménagement se fait en interaction avec le calcul des possibilités forestières.

4^e étape : Détermination des possibilités forestières

Les possibilités forestières sont déterminées par le Forestier en chef, une fois la stratégie d'aménagement finale adoptée. La détermination des possibilités forestières peut nécessiter des analyses complémentaires au calcul pour évaluer les risques environnementaux ou sociaux-économiques associés à une potentielle sous-estimation ou surestimation des possibilités forestières. L'acte de détermination peut conduire à une révision des possibilités forestières calculées (Manuel de détermination des possibilités forestières 2013-2018).

5^e étape : Attribution des garanties d'approvisionnement

Une garantie d'approvisionnement indique les volumes de bois qui peuvent être récoltés annuellement par un bénéficiaire pour approvisionner une usine de transformation (MRN-Garanties d'approvisionnement, 2014).

Ces volumes de bois sont attribués en fonction de la possibilité forestière déterminée par le Forestier en chef. La répartition des volumes de bois entre les bénéficiaires se fait en tenant compte de certains critères, tels que les besoins des usines de transformation, la disponibilité des bois en provenance de la forêt privée, la performance forestière et environnementale relative aux activités d'aménagement réalisées sur le territoire d'approvisionnement de l'usine, etc.

Une partie des volumes de bois est également réservée au marché libre et à la réalisation de projets de développement régional (ex. : forêts de proximité).

6^e étape : Mise en œuvre de la stratégie

La stratégie d'aménagement est mise en œuvre en suivant une programmation des activités d'aménagement à réaliser en forêt, et ce sur une base annuelle via le PAFI-O.

Le Plan d'aménagement forestier intégré opérationnel

Le PAFI-O contient principalement les secteurs d'intervention où sont planifiées, conformément au plan tactique, la récolte de bois et la réalisation de d'autres activités d'aménagement (travaux sylvicoles non commerciaux et voirie). Le PAFI-O est dynamique et mis à jour de temps à autre afin d'intégrer de nouveaux secteurs d'intervention.

7^e étape : Réalisation des suivis

Les suivis font partie intégrante du processus de mise en œuvre de l'aménagement durable des forêts. Ils sont nécessaires pour vérifier, valider et améliorer les pratiques d'aménagement; il en va de même pour les méthodes menant à la détermination des possibilités forestières. Les suivis sont également utiles à différentes étapes du processus de planification forestière et pour la reddition de comptes.

8^e étape : Réalisation des bilans

Il y a deux sortes de bilans à réaliser, les bilans territoriaux et régionaux qui fournissent des analyses, des constats et des recommandations en vue d'améliorer le prochain cycle de planification forestière, et le bilan national qui concerne la mise en œuvre, à l'échelle nationale, des exigences d'aménagement durable des forêts.

1.3 Concept des enchères

1.3.1 Historique

Les enchères ne sont pas une invention moderne. Herodotus rapporte la tenue d'enchères à Babylone 500 ans A.C. (Krishna 2002). Aujourd'hui, le principe d'enchères est très fortement utilisé et démocratisé, notamment avec l'utilisation d'enchères sur Internet tel eBay. Les œuvres d'art et les antiquités ont depuis toujours été alloués sur le coup du marteau de l'encanteur. Toutes les formes de soumissions, telles les soumissions gouvernementales pour des projets de construction ou pour des services, ne sont rien d'autre qu'une enchère, les vendeurs étant alors en compétition pour offrir leurs services. Le système boursier nord-américain est le symbole même du succès des enchères. Plus récemment, les gouvernements se sont servis des enchères pour vendre les bons du Trésor ainsi que les spectres électromagnétiques de communication. Les enchères sont également fortement utilisées en agriculture pour la vente d'animaux dans les encans publics, pour la vente de porcs et de veaux au Québec via une enchère électronique et pour la vente de quotas laitiers par le système centralisé.

1.3.2 Rôle et modèle des enchères

Les enchères sont utilisées pour déterminer la valeur que les acheteurs attachent à l'objet ou au service vendu, soit le maximum que chaque acheteur est prêt à payer pour se procurer un bien. En effet, si le vendeur connaissait exactement ce que les acheteurs sont prêts à payer, il n'aurait qu'à offrir le bien ou le service légèrement en deçà de la volonté de payer de l'acheteur ayant la plus haute évaluation. L'incertitude quant à la valeur d'un objet ou d'un service à laquelle fait face acheteurs et vendeurs est une caractéristique intrinsèque des enchères. L'incertitude est à la base de trois situations distinctes dans lesquelles les enchères doivent être analysées :

Valeur privée : Lorsque chaque acheteur connaît la valeur qu'a pour lui un objet ou un service au moment de la mise. Dans ce cas, aucun acheteur ne connaît la valeur que les autres attachent au bien ou au service. Toutefois, même si cette valeur était connue, cela n'affecterait pas les mises individuelles, puisque ces dernières reflètent combien vaut vraiment l'objet mis aux enchères pour chaque individu. Une peinture achetée pour usage personnel est un exemple typique d'un bien avec valeur privée. Une peinture peut plaire

énormément à un individu et pas du tout à un autre, le premier sera donc prêt à miser une somme relativement importante pour ladite peinture contrairement au deuxième.

Valeur interdépendante : Lorsque les acheteurs assignent une valeur à l'item vendu sur la base de combien pourrait rapporter cet item en le revendant ou lorsque les acheteurs assignent une valeur sur la base d'un retour sur un investissement, alors l'hypothèse de valeur privée ne tient plus. Dans ce cas, la valeur exacte de l'item est inconnue de l'acheteur lui-même, ce dernier ne disposant généralement que d'informations partielles telles l'évaluation d'un expert, une probabilité de rendement ou une fenêtre de prix de revente. Par contre, les autres acheteurs possèdent également de l'information (exemple : d'autres évaluations d'experts). Si l'information détenue par chacun était rendue publique, cela pourrait influencer l'évaluation de la valeur de l'item pour un acheteur en particulier. Donc, la valeur exacte de l'objet pour un acheteur est inconnue au moment de l'enchère et peut être affectée par l'information disponible aux autres acheteurs. Toutefois, cette information n'est pas entièrement utilisable puisqu'il existe des différences au niveau des coûts d'exploitation (frais de transaction de revente) parmi les acheteurs. Un exemple pourrait être la vente aux enchères d'un lot de bois coupé. Les scieries peuvent avoir différentes évaluations de l'évolution du coût du bois dans les six prochains mois. Cette information influence grandement les mises, mais même si elle était partagée, les mises ne seraient pas nécessairement identiques. En effet, ces dernières sont également influencées par le coût de production de chaque scierie.

Valeur commune: C'est un cas spécial de valeur interdépendante. Comme pour celle-ci, aucun acheteur ne connaît exactement la valeur de l'item, mais l'item a la même valeur intrinsèque pour chaque acheteur. Ainsi, l'évaluation de la valeur de l'item est tellement interdépendante que si l'information était la même pour tous, tous auraient la même évaluation. Un exemple type est celui de la jarre de monnaie mise aux enchères. Aucun des acheteurs ne sait exactement la somme de monnaie que contient la jarre (ex. : 8 \$), mais cette somme est la même pour tous.

1.3.3 Les grandes familles d'enchères

Essentiellement, quatre grands formats pour les ventes aux enchères existent. Easley & Kleinberg (2010) définissent comme suit : **l'enchère ascendante** appelée aussi l'enchère anglaise où la vente s'effectue d'une manière interactive en temps réel, les

soumissionnaires étant physiquement présents ou participant par voie électronique. Le vendeur augmente progressivement le prix, et les soumissionnaires abandonnent jusqu'à ce qu'un seul enchérisseur remporte l'objet à un prix final ; **L'enchère descendante** qui est une forme d'enchère interactive dans laquelle le vendeur diminue progressivement le prix à partir d'une certaine valeur initiale élevée jusqu'à l'instant où certains soumissionnaires acceptent le prix actuel et remportent l'enchère. Ce type d'enchère est aussi connu comme l'enchère hollandaise parce que les Pays-Bas utilisent cette procédure depuis longtemps pour vendre des fleurs ; **L'enchère scellée ou sous pli cacheté au premier prix** où les enchérisseurs présentent simultanément leurs soumissions scellées au vendeur. L'enchérisseur offrant le prix le plus élevé remporte l'enchère et paie le prix de son offre ; Finalement, **l'enchère scellée au deuxième prix**, où les enchérisseurs présentent des offres scellées au vendeur et celui qui a l'offre la plus élevée remporte l'enchère et paie le prix de la deuxième offre la plus élevée. Ce type d'enchère est également appelée **l'enchère de Vickrey** en l'honneur de William Vickrey, qui a écrit la première théorie de jeux des enchères.

Dans la littérature, ils existent d'autres types d'enchères. La plupart ne sont toutefois que des dérivés des grandes familles d'enchères vues précédemment comme par exemple l'enchère simultanée à multiples tours et l'enchère combinatoire.

L'enchère simultanée à multiples tours

Il s'agit d'une enchère dans laquelle tous les items sont offerts en même temps, mais individuellement. L'enchère n'est pas continue comme une enchère de type anglais, mais discrète, avec des tours successifs. La longueur de chaque tour est prédéterminée et, à la fin de chacun, les résultats sont rendus publics. Les mises gagnantes à la fin d'un tour ne sont pas définitives et sont donc appelées « mises gagnantes provisoires ». Lors du tour suivant, les mises gagnantes provisoires peuvent être remplacées par des mises supérieures. L'enchère s'arrête lorsqu'il n'y a plus aucune mise pour aucun item dans un tour (Easley & Kleinberg 2010).

Cette enchère permet aux participants de réagir à l'information obtenue au tour précédent, réduisant le risque de malédiction du gagnant. Puisque plusieurs items sont en vente simultanément, les acheteurs peuvent réagir aux prix entre items et faire des substitutions si ces dernières sont avantageuses. Cette forme assure également que des items similaires

seront vendus à des prix similaires. Pour favoriser la performance, les enchères devraient être les plus larges possibles en territoire et en type de lots.

L'enchère combinatoire

Cramton (2005) définit l'enchère combinatoire comme une enchère dans laquelle l'acheteur peut miser sur une combinaison d'items ainsi que sur des items de façon individuelle. Ce type d'enchère peut grandement améliorer l'efficacité du marché lorsqu'une importante complémentarité existe entre les items vendus, c'est-à-dire lorsqu'une combinaison d'items a une plus grande utilité que la somme des utilités individuelles.

L'exemple classique étant celui de la paire de chaussures. Ainsi, une paire de chaussures a une plus grande valeur que la valeur d'une chaussure droite vendue seule et d'une chaussure gauche vendue seule, notamment du fait que lorsque je mise sur la chaussure droite, je n'ai pas l'assurance que je vais obtenir la gauche. Il en va de même en foresterie où il est possible de réaliser des économies d'échelle lorsque plusieurs lots situés près les uns des autres sont récoltés en même temps par une même compagnie. Ce type d'enchère peut prendre plusieurs formes, la plus connue étant une généralisation de l'enchère de Vickrey, où chaque gagnant paie le coût d'opportunité du lot gagné, c'est-à-dire le deuxième meilleur usage (individuel ou en lot) des items du lot remporté. La performance de cette enchère est améliorée lorsque tous les items sont offerts en même temps, mais individuellement, dans un format de type enchère simultanée à multiples tours. Dans cette version, l'enchère n'est pas continue comme une enchère de type anglais, mais discrète, avec des tours successifs. Les lots sont remportés de façon individuelle ou combinée, selon le montant le plus important généré.

La Figure 4 résume les différentes caractéristiques des enchères selon le type utilisé

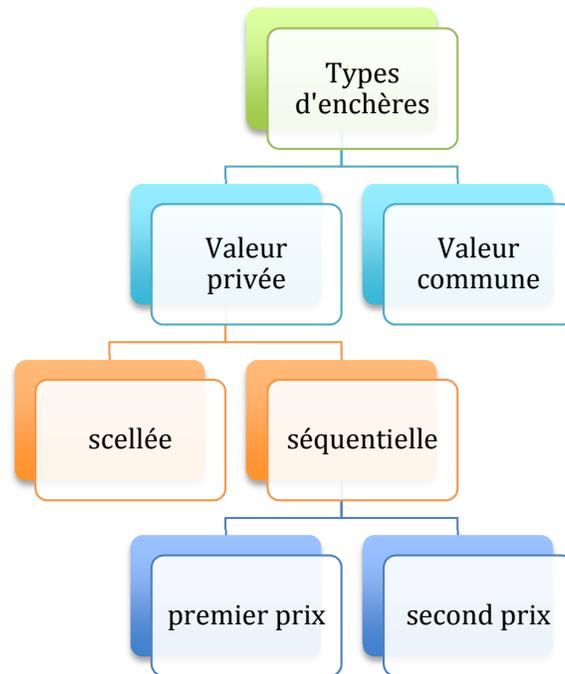


Figure 4: Caractéristiques des enchères pour chaque type utilisé (Source Milgrom 2004)

1.3.4 Évolution des enchères

Les enchères traditionnelles exigent que les produits et les enchérisseurs soient rassemblés dans un seul endroit ou marché pour inspecter les items de la vente et commencer par la suite le processus de vente. Cette tradition est probablement essentielle pour l'enchère sauf qu'elle nécessite un investissement important en termes de temps et d'argent. En effet, ceci nécessite le transport d'un grand nombre d'articles et des futurs acheteurs en un même endroit central. Lorsque plusieurs articles vendus dans les enchères sont assez standards dans leur qualité, le processus de vente peut alors se faire par description verbale des articles, sans nécessité de tous les inspecter. Nous pourrions appeler ça la « vente par description » qui permet alors d'éliminer la nécessité de rassembler tous les articles et les acheteurs dans un même endroit.

Le déploiement de l'Internet a toutefois permis de substituer l'environnement de vente physique par un cadre en ligne, via les enchères électroniques. Les avantages des enchères électroniques sont multiples; réduction de coûts de transaction pour le vendeur et pour l'acheteur, disparition du coût de transport, opérations quotidiennes, meilleur prix et meilleures informations sur le produit, moins de collusion entre les acheteurs, absence d'intermédiaire et une chaîne d'approvisionnement plus simple.

1.3.5 Avantages et inconvénients des enchères

En tant que mécanisme pour établir des prix compétitifs et allouer des ressources, les enchères possèdent des avantages ainsi que des limites :

Avantages : La caractéristique la plus importante des enchères est leur capacité d'établir des prix pour des items dont la valeur n'est pas connue avant la vente. En effet, quand un groupe d'acheteurs est rassemblé, le prix dans le processus de vente aux enchères établit la valeur du produit, peu importe sa nature ou les conditions de marché qui changent au cours de temps. Ceci explique l'utilisation des enchères dans la vente d'antiquités et d'œuvres d'art ou encore pour les produits qui se caractérisent par un approvisionnement irrégulier ou incertain comme dans l'agriculture et les biens usagés. Les enchères sont considérées comme un moyen efficace pour établir des prix compétitifs aux produits dont la valeur varie considérablement dans le temps. Comme deuxième avantage nous pouvons citer la garantie de la vente. En effet, les enchères sont structurées d'une manière qui maximise la chance que la vente se produise. Leur caractère de baisser le prix jusqu'à trouver un acheteur (tout en supposant que le vendeur a un prix de réserve) est un élément clé pour la vente de produits périssables et les articles en liquidation forcée. Ceci fait de l'enchère un mécanisme viable au cours du temps, surtout durant les périodes de surabondance des marchés. Les enchères sont aussi considérées comme une fenêtre sur le marché étant donné qu'elles rendent public le processus de négociation et favorisent l'interactivité et l'échange entre les acheteurs et les vendeurs tout au long du processus de vente. D'autres avantages ont trait aux livraisons rapides pour les articles de la vente, à la possibilité de spécifier les exigences de paiement, à l'option de prix de réserve pour les vendeurs, à la flexibilité dans la stratégie d'appel d'offres, etc.

Désavantages : Il existe plusieurs aspects dans le processus de vente aux enchères qui limitent son utilisation. L'élément le plus important est probablement le bon choix de la période de tenue des enchères. En effet, la vente aux enchères exige la présence d'un groupe de futurs acheteurs pour acquérir les articles à la même période. Toutefois, les acheteurs ont tous des besoins qui varient dans le temps ou disposent d'un calendrier d'achat unique. De plus, les enchères sont connues comme un mécanisme qui exige une prise de décisions et un paiement rapide par les acheteurs alors que certains produits comme les immobiliers, les automobiles et les biens d'équipement nécessitent

généralement une longue réflexion et des négociations bilatérales. Les enchères sont aussi connues comme un processus lent ne permettant pas d'établir une routine de vente pour les produits dont la valeur est plutôt stable.

Certains négociateurs considèrent que le caractère public de négociation dans le processus de vente aux enchères est plutôt un inconvénient, surtout lorsque le contrôle des informations est géré par une partie privée. Les deux situations de monopole et monopsonne sont d'ailleurs de bons exemples. Le monopole est une situation dans laquelle un offreur se retrouve à détenir une position d'exclusivité sur un produit ou un service offert à une multitude d'acheteurs, alors qu'un monopsonne est un marché sur lequel un seul demandeur se retrouve face à un grand nombre d'offreurs.

D'autres problèmes à considérer dans les ventes aux enchères concernent le risque de **collusion** et/ou de **corruption** entre les futurs acheteurs et les **comportements stratégiques**. Degan et *al.* (2008) ont défini ces termes comme suit :

Le comportement stratégique est défini comme étant la prise de décision en situation où tous sont conscients de leur divergence d'intérêts et de l'interdépendance de leurs décisions. En d'autres mots, la prise de décision est faite en considérant la réaction potentielle des autres. Concrètement, pour un acheteur, cela pourrait se traduire par l'achat de moins d'unités que ce qu'il désire, si cette stratégie se reflète par un coût moyen moindre et plus de profit. Le comportement stratégique pourrait également se traduire par une mise plus faible, afin de ne pas signaler pleinement sa valorisation du bien à la compétition et maximiser ses profits dans les rondes d'achat successives. Bref, en présence de comportements stratégiques, les agents économiques ne révèlent pas leur vraie demande ou offre. L'information de marché (prix et quantité) qui en résulte est donc biaisée.

La **corruption**, quant à elle, se définit comme étant le détournement d'un processus. C'est un comportement pénalement répréhensible par lequel une personne (le corrompu) sollicite, agréé ou accepte un don, une offre ou une promesse, ou des avantages quelconques en vue d'accomplir un acte entrant d'une façon directe ou indirecte dans le cadre de ses fonctions. Elle peut prendre la forme d'un pot-de-vin ou d'une fraude. Elle a pour effet de biaiser l'information de marché. Elle peut survenir quand des officiers régionaux ont un trop grand pouvoir discrétionnaire.

Quant à la **collusion**, elle se définit comme étant une entente implicite ou explicite entre des firmes existantes afin d'éviter ou de réduire la compétition entre elles. Tout comme pour le comportement stratégique, la collusion a pour effet de biaiser l'information de marché. Il faut noter que la collusion et la corruption sont interdites dans la majorité des pays, alors que le comportement stratégique résulte d'incitatifs économiques. Le choix d'un mécanisme de marché et de ses règles est important puisqu'il influe sur les incitatifs de comportements stratégiques et les possibilités (facilités) de collusion.

1.4 Stratégies d'approvisionnement

Les organisations évoluent aujourd'hui dans un environnement caractérisé par de multiples perturbations politiques et économiques dans leurs sources d'approvisionnement. Pour survivre dans un tel marché turbulent, ces organisations doivent surveiller continuellement leur position concurrentielle en veillant sur leur processus internes, particulièrement leur processus d'approvisionnement. Cette sous-section traite donc de l'approvisionnement et ce, en deux volets: le volet stratégique ainsi que le volet opérationnel. Une première partie se focalise sur le rôle stratégique de l'approvisionnement en décrivant l'importance croissante et stratégique des stratégies d'approvisionnement au sein de l'entreprise. Les caractéristiques clés pour l'élaboration d'une stratégie d'approvisionnement sont ensuite abordées.

1.4.1 L'importance croissante et stratégique des stratégies d'approvisionnement

Au cours des dernières années, la reconnaissance que la chaîne d'approvisionnement est source d'avantage concurrentiel a conduit plusieurs organisations à poursuivre les doubles avantages de valeur et d'excellence opérationnelle. Dans de nombreux environnements, il a été reconnu que la concurrence dans l'avenir ne sera pas entre les organisations, mais plutôt entre les chaînes d'approvisionnement dont elles font partie.

Les meilleures pratiques d'approvisionnement recommandent l'élaboration de stratégies d'approvisionnement pour tous les biens et les services avant leur acquisition.

Tout au long du siècle passé, les pratiques d'approvisionnement sont devenues de plus en plus importantes pour la réussite globale de l'entreprise (Fawcett 2000).

De nombreuses entreprises de premier rang ont adopté des pratiques innovantes au niveau de leur gestion d'achat et d'approvisionnement (*Purchasing and Supply Management PSM*)

pour améliorer la qualité, la réactivité, la fiabilité et la flexibilité de leur chaîne de valeur tout en réduisant les coûts (Moore et al. 2002).

Ces pratiques regroupent des orientations importantes telles que :

- analyser l'ensemble des dépenses de l'entreprise ;
- effectuer des analyses de marché et de stratégies d'approvisionnement ;
- réduire ou consolider le nombre de contrats avec chaque fournisseur ;
- établir des partenariats à long terme avec les meilleurs fournisseurs ;
- travailler avec les meilleurs fournisseurs pour améliorer la qualité, le coût et le service ;
- intégrer des fournisseurs clés dans le système, les plans, les processus et les organisations.

1.4.2 Pourquoi une stratégie d'approvisionnement?

Selon Kraljic (1983), il y a trois variables clés qui justifient le besoin d'élaboration d'une stratégie d'approvisionnement. Ces mêmes variables affectent aussi la forme d'une telle stratégie.

1. L'importance stratégique d'un groupe de biens ou de services pour l'entreprise et pour ses clients;
2. La complexité et l'incertitude des marchés d'approvisionnement;
3. La complexité et l'incertitude des exigences de la clientèle.

En ce qui concerne l'importance stratégique des biens et services, il est évident que ces derniers varient dans leur effet sur les clients. Pour la complexité et l'incertitude des marchés d'approvisionnement, cela inclut la disponibilité et la performance des biens et services, le rythme de changement technologique, les barrières d'entrée à un marché, les coûts logistiques, le marché des fournisseurs (monopole, oligopole, ou compétitif) et les conditions (rentabilité, concurrence, culture avec l'acheteur, etc.). Finalement pour la complexité et l'incertitude des exigences de la clientèle, cela comprend la variance et la stabilité de la demande client au fil du temps, l'étendue des catégories de dépenses, etc. Une stratégie d'approvisionnement pour les demandes stables (comme la nourriture) sera sans doute différente de celle pour des demandes variables.

1.4.3 Les stratégies d'approvisionnement : Définition et évolution

La transformation de l'achat et de la fonction d'approvisionnement à partir d'un processus passif, administratif et réactif à une fonction stratégique et proactive, a été prédite au début des années 1960, lorsque la fonction approvisionnement gagnerait une importance accrue dans la gestion de l'entreprise (Renge 2005). Ainsi, à la fin des années 1980 et au début des années 1990, le succès concurrentiel des constructeurs automobiles japonais et leurs partenariats étroits avec les fournisseurs pour soutenir la fabrication juste-en-temps a poussé le service achat à jouer un rôle stratégique comprenant l'élaboration de stratégies d'approvisionnement (Baily et al. 2005). L'achat a ainsi évolué d'une fonction de centre de coût à une fonction de création de valeur, d'une tradition d'approvisionnement qui vise à travailler avec plusieurs fournisseurs à une approche plus stratégique qui vise la rationalisation de l'approvisionnement.

L'achat et l'approvisionnement sont aujourd'hui considérés comme des sources potentielles d'avantage stratégique pour une organisation. Cette nouvelle orientation exige une étroite collaboration avec les fournisseurs et implique une plus grande préoccupation vis-à-vis des coûts totaux, y compris ceux engagés à la fois avant et après les transactions, plutôt que seulement les prix de transaction (Baily et al. 2005). D'après Fawcett (2000), le passage à une stratégie d'approvisionnement stratégique nécessite des modifications au niveau de quatre éléments clés: *les objectifs, les ressources, l'environnement et la rétroaction (feedback)*. Les pratiques d'achat stratégique nécessitent également souvent une restructuration et une formation du personnel pour améliorer leurs compétences.

Définition d'une stratégie d'approvisionnement

La stratégie d'approvisionnement est un moyen proactif pour l'acquisition et la gestion d'un groupe de biens ou de services. Elle décrit la façon dont l'entreprise procède pour assurer un coût efficace et réactif de même qu'un approvisionnement fiable de haute qualité pour répondre aux besoins actuels et futurs (Moore et al. 2007). La stratégie d'approvisionnement ne doit pas être conçue pour servir seulement l'acquisition d'un bien, mais pour servir l'acquisition et la gestion de l'ensemble de l'entreprise.

La littérature sur l'approvisionnement est très riche et diversifiée. Toutefois, aucun standard ou processus n'a émergé sur la manière exacte de développer une stratégie d'approvisionnement. Compte tenu de la diversité des produits et des industries ainsi que de la complexité de développer une stratégie concurrentielle, ce n'est pas surprenant qu'un processus standard soit peu probable pour s'adapter à toutes les situations.

1.4.4 Processus d'élaboration d'une stratégie d'approvisionnement

Les processus et les cadres d'analyse pour l'élaboration d'une stratégie d'approvisionnement sont multiples, mais ont aussi des points en commun.

Moore et *al.* (2007) ont présenté un processus d'élaboration d'une stratégie d'approvisionnement avec deux grandes phases. La première phase consiste à évaluer et à cibler stratégiquement les opportunités dans une entreprise pour améliorer les processus et les stratégies en regroupant et en priorisant différentes ressources à fournir pour la nouvelle stratégie d'approvisionnement visée. La deuxième phase cible le choix des produits selon les besoins particuliers, leur effet sur l'entreprise, leur capacité à libérer le personnel (par exemple automatisation de l'achat), etc.

Ci-dessous les différentes étapes du processus comme le décrivent Moore et *al.* (2007).

Phase I: Évaluer, grouper, segmenter et prioriser les opportunités d'échelle de l'entreprise

- Assigner une équipe pour déterminer les dépenses de l'entreprise par produit et fournisseur
- Documenter et analyser les achats et les dépenses par groupe et sous groupe
- Analyser et documenter la base actuelle de l'approvisionnement et identifier les risques potentiels
- Segmenter et classer les achats selon leur importance stratégique
- Identifier et quantifier les potentiels opportunités
- Évaluer les capacités et la facilité d'exécution interne et externe
- Prioriser les possibilités de bénéfice attendue



Phase II: Développer une stratégie d'approvisionnement pour le groupe initial de marchandise avec la plus grande valeur et une récupération rapide

- Attribuer une équipe multifonctionnelle pour chaque produit de base sélectionné (le produit projet)
- Développer un profit plus détaillé pour le groupe de produit de base sélectionné
- Analyser le marché d'approvisionnement pour ce groupe de produit de base
- Identifier et prioriser les risques potentiels
- Élaborer la stratégie
- Exécuter la stratégie

Figure 5: Processus d'élaboration d'une stratégie d'approvisionnement (Moore et al. 2007)

Les grandes entreprises prennent des engagements importants pour l'évolution de leurs pratiques de gestion des achats et de l'approvisionnement. Elles analysent leurs dépenses, segmentent en principaux groupes les produits en fonction de leur valeur pour l'entreprise et de leur vulnérabilité, puis les priorisent pour achat initial.

1.4.5 Mécanismes d'approvisionnement

Les mécanismes d'approvisionnement peuvent être classés en six catégories (Gaston 2005) :

- L'approvisionnement standard ;
- Le transfert physique ;
- La consignation ;
- La sous-traitance ;
- Les services externes ;

- Les stratégies d'approvisionnement électroniques, e-sourcing, e-procurement et e-tendering, qui intègrent l'utilisation de l'Internet et regroupent les enchères et mises électroniques.

Gaston (2005) définit ces approches comme suit :

L'approvisionnement standard : Il s'agit de la stratégie classique. Tous les besoins internes sont exprimés dans des demandes d'achats. Ces dernières arrivent au service achats. Le service achats contacte des fournisseurs externes, étudie les offres et sélectionne les fournisseurs. Les demandes d'achats sont ensuite converties en commandes d'achats. On attend ensuite la livraison des marchandises à la date et aux lieux convenus.

Le transfert physique : Les besoins internes sont par exemple orientés vers un magasin de l'entreprise. Le magasin principal approvisionne les magasins secondaires, les ateliers ou les bureaux. Ce flux interne de marchandise d'une entité à une autre de l'entreprise s'appelle « flux de transfert ». En effet, le mouvement de stock ne provoque en retour aucune facturation. Les stocks sont transférés avec leur valeur.

La consignation : Le stock de l'entreprise est conservé sur le site du fournisseur. On parle alors de « stocks en consignation ». L'entreprise commande des articles, mais les garde en stock dans les locaux du fournisseur. L'entreprise en est donc le propriétaire légal mais le paiement aura lieu uniquement lorsqu'une demande des articles en consignation sera adressée au fournisseur. Ce n'est qu'à partir du prélèvement et de la sortie de la marchandise que le fournisseur demandera le règlement pour les quantités de marchandises consommées. Généralement, pour ce type de contrat, le fournisseur exige une garantie minimum de consommation.

La sous-traitance : Il s'agit de confier à une tierce partie l'exécution d'une prestation, ou la fabrication de matières ou de composants. La sous-traitance est une stratégie d'approvisionnement avec des caractéristiques particulières qui la différencie de l'approvisionnement de services externes. Dans une commande, chaque poste de sous-traitance est rattaché à un ou à plusieurs sous-postes qui contiennent les matières ou les composants requis par le sous-traitant pour effectuer sa tâche. Ces matières ou composants engendrent une consommation des stocks de l'entreprise. Une fois la commande d'achat confirmée, on effectue au niveau du magasin une opération de sortie marchandises à destination du sous-traitant.

Les services externes : Dans une commande de services externes, chaque poste comprend un cahier des charges qui détaille les prestations du fournisseur. Le cahier des charges peut inclure des postes qui représentent des services (*fiches services*), des activités, mais également des articles. La stratégie d'approvisionnement des services permet de distinguer deux catégories de services : Les « **services planifiés** » sont des services dont la nature et l'étendue sont connues au moment de la passation de commande. Ils sont enregistrés avec une description, une quantité et un prix. Dans le cahier de charge, il est possible d'autoriser le dépassement (en pourcentage) de la quantité initiale, mais aussi la modification du prix contractuel. Les « **services non planifiés** » ne comportent aucune description. Il s'agit des activités ou travaux qui ne peuvent pas être spécifiés en détail parce que leur nature et leur étendue précise ne sont pas encore connues. Pour avoir un contrôle sur les dépenses engendrées, des valeurs limites sont indiquées à la place des lignes de service. Les services peuvent alors être exécutés jusqu'à une valeur ne dépassant pas ces valeurs limites.

Stratégies d'approvisionnement électronique :

Il existe aujourd'hui de très nombreux outils permettant de faciliter l'activité d'approvisionnement des organisations. Nous retrouvons notamment le **e-sourcing** qui désigne l'utilisation d'Internet pour identifier et contacter de nouveaux fournisseurs pour un type de produit donné, le **e-procurement** qui désigne l'utilisation des nouvelles technologies pour automatiser et optimiser la fonction achat de l'entreprise et le **e-tendering** qui désigne l'utilisation d'Internet pour faire des demandes de devis d'une part et la réception des offres d'autre part. Les enchères électroniques s'insèrent sous cette catégorie.

Maintenant que nous avons compris les concepts qui touchent notre projet de recherche à savoir l'approvisionnement forestier dans un contexte d'enchères et l'importance d'élaborer des stratégies d'approvisionnement, nous rappelons ici l'objectif principal de ce mémoire qui consiste à identifier des stratégies d'approvisionnement efficaces pour une compagnie forestière qui a à combler une partie de ses besoins en fibre via l'achat par enchères électroniques. Ainsi une revue systématique de la littérature portant sur les systèmes d'enchères de bois dans le monde sera présentée dans le chapitre qui suit.

Chapitre 2 : Revue de la littérature

Dans le but d'étudier la question des stratégies d'approvisionnement dans un contexte d'enchères, il est intéressant de tout d'abord comprendre le système à travers lequel une partie de la ressource forestière est allouée. Ce chapitre présente donc une revue de la littérature en deux volets, une première partie portant sur les systèmes d'enchères pour la vente du bois à travers le monde et une autre couvrant l'approvisionnement collaboratif dans les enchères.

La première partie de la revue de ce chapitre a d'ailleurs été présentée dans le cadre de la 10^e Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation- MOSIM'14, dont la référence est la suivante : *Raja Ziedi, Nadia Lehoux, Luc LeBel, Système d'enchère pour l'approvisionnement forestier : Une revue des façons de faire dans le monde. MOSIM 2014, 10^e Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation, Nov. 2014, Nancy, France.*

2.1 Système d'enchères de bois pour l'approvisionnement forestier : Revue systématique de la littérature

Dans le but d'analyser et de comprendre la dynamique de vente de la ressource forestière à travers un système d'enchères, une revue de littérature systématique a été menée. Une revue de littérature systématique RLS est l'application de différentes stratégies scientifiques limitant le biais dans la collecte d'information et permettant une évaluation critique de même qu'une synthèse de toutes les études pertinentes sur un sujet précis (Cook et al. 1995). Dans le cadre de ce travail, nous avons appliqué une méthodologie qui se résume en trois grandes étapes. Cette démarche proposée par Tranfield et al. (2003) et schématisée dans la Figure 6 se résume à *planifier la revue, mener la revue et présenter les résultats et rapports.*

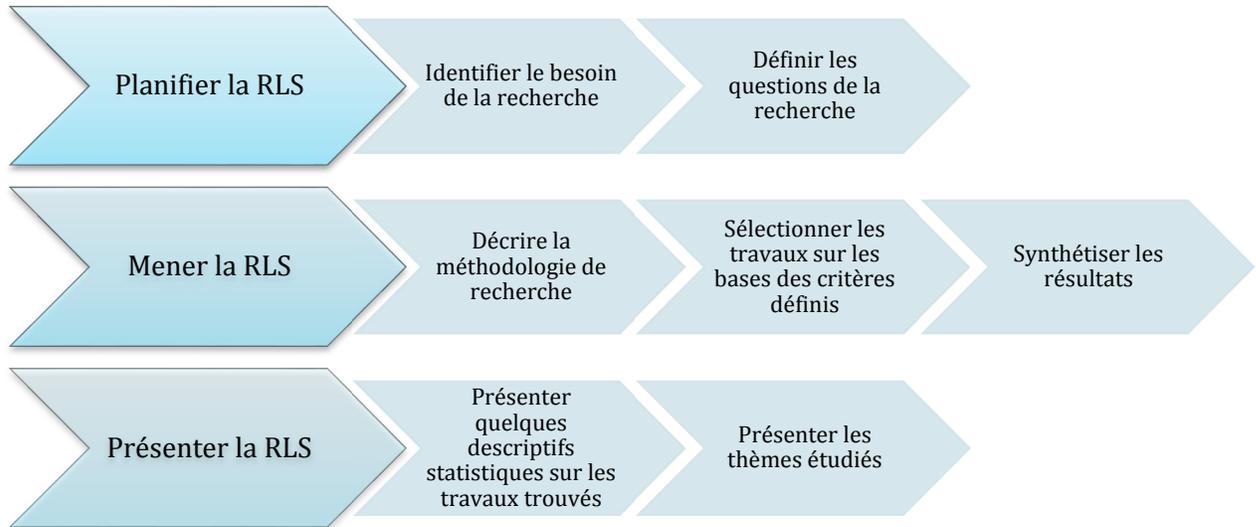


Figure 6: Étapes d'une Revue de la littérature systématique RLS (selon Tranfield et al. 2003)

Les détails de ces trois étapes appliquées à notre contexte seront présentées dans ce qui suit :

2.1.1 Planifier la revue de littérature systématique

Comme une partie de l'approvisionnement de la ressource forestière se fait à travers un système d'enchères, il y a un besoin de comprendre cette dynamique de fonctionnement qui cause une incertitude au niveau de l'approvisionnement et donc un impact sur la planification des opérations forestières dans l'entreprise. Le but de notre revue de littérature systématique est donc de comprendre la dynamique de fonctionnement de la vente du bois aux enchères dans différents pays du monde. Nous avons défini ainsi les questions de recherche à traiter par la suite :

Q1 : *Combien d'études par année et par pays ont traité le sujet des enchères du bois ?*

Q2 : *Quelles sont les thèmes abordés par les auteurs dans leurs travaux sur les enchères du bois?*

Q3 : *Quelles sont les principales caractéristiques des différents systèmes d'enchères de bois étudiés ?*

Q4 : *Quelles sont les différentes stratégies d'approvisionnement définies pour remédier à l'incertitude du système d'enchères ?*

2.1.2 Mener la Revue de littérature systématique

Les bases, les méthodes et les critères de recherche. Comme première source de données, nous avons utilisé les bases de données suivantes pour les articles scientifiques: *Compendex, Geobase, Inspec et Web of science*. Nous avons aussi cherché dans les sites web gouvernementaux puisque la majorité des systèmes d'enchères sont dirigés par des organismes gouvernementaux qui ont leurs propres sites officiels pour la gestion du système d'enchères des bois. Dans le but d'affiner le maximum la revue et de sélectionner les études les plus pertinentes, nous avons choisis les articles scientifiques qui comprennent les termes suivants dans leur Subject/Title/Abstract : "*Timber auction*" ou "*auction*" ET "*forestry*". Dans une deuxième phase, nous avons introduit le terme "*supply*" OU le terme "*procurement*" dans le but de cerner encore mieux la recherche dans le thème de l'approvisionnement.

Plage de temps. Dans le choix de ce critère, notre but était de prendre une période assez longue pour présenter convenablement l'état de la littérature scientifique dans le domaine d'approvisionnement du bois via un système d'enchères. Constatant que le nombre total d'articles trouvés dans l'intervalle de temps entre 1884 et 2014 n'était que de 75 articles toutes bases confondues, nous avons donc conservé cette période complète.

Les critères d'évaluation. Un balayage a été effectué sur la totalité des articles trouvés. Le premier critère d'évaluation était d'évaluer, en lisant les résumés, les introductions et les conclusions, à quel point l'article touchait le système d'enchères du bois. Le deuxième critère était d'éviter la redondance des thèmes étudiés dans l'enchère.

2.1.3 Présentation des résultats statiques de la RLS

Parmi les 75 articles trouvés, 64 se sont avérés pertinents pour l'étude. Le graphique ci-dessous présente l'évolution du nombre d'articles en fonction de temps. Il y a une évolution claire mais pas réellement stable puisque une hausse certaine s'est manifestée vers l'année 2006 puis vers l'année 2013.

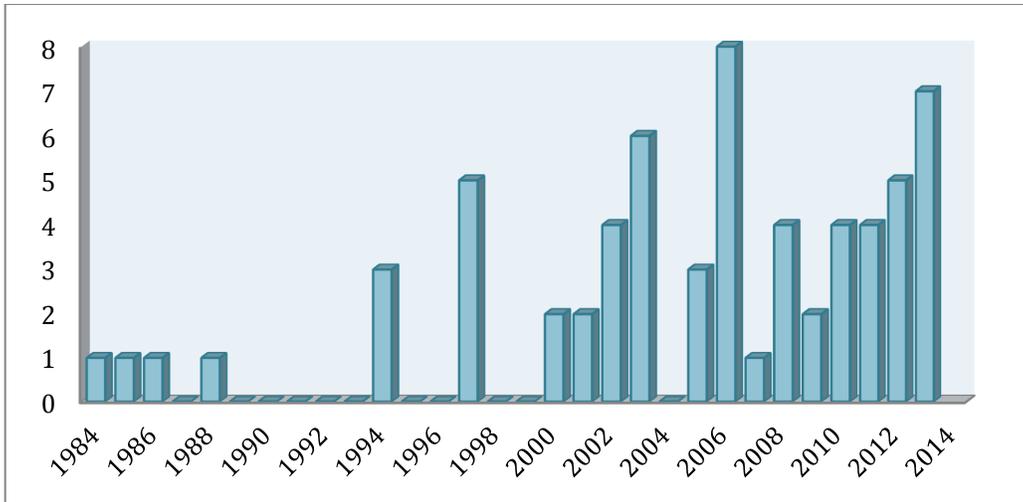


Figure 7: Nombre d'articles trouvées par année

Le graphique illustré dans la Figure 7 classe le nombre d'articles retenus par pays étudié. Les États-Unis sont ainsi en tête de liste, suivis par la France et la Colombie-Britannique.

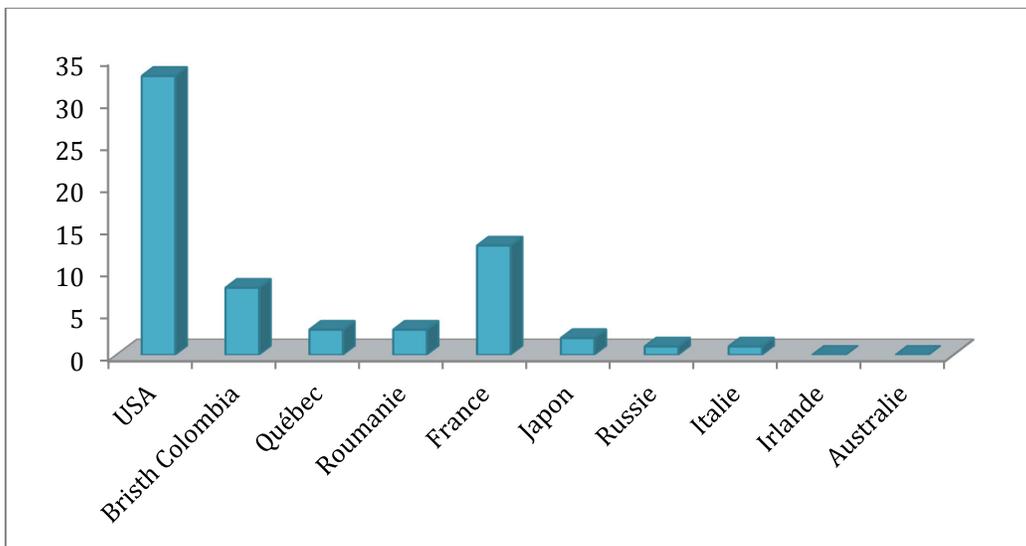


Figure 8: Nombre d'articles par pays

Ces deux graphiques permettent de répondre à la question **Q1** définie préalablement, à savoir que 33 articles ont été publiés entre 1984 et 2014 aux États-Unis, 13 articles en France et 9 articles seulement au Canada pour cette même période. La Roumanie, le Japon, la Russie, l'Italie, l'Irlande et l'Australie ont pour leur part proposé un ou deux articles.

La prochaine sous-section présente une revue des articles sélectionnés selon les critères cités ci-dessus, répondant ainsi à la question **Q2** : *Quelles sont les thèmes abordés par les auteurs dans leurs travaux sur les enchères du bois*. Un tableau de synthèse vient clore cette partie.

2.1.4 Les enchères du bois dans le monde

Plusieurs pays du monde utilisent l'enchère pour l'allocation du bois, notamment l'Allemagne, l'Australie, la Belgique, le Canada, le Cameroun, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, l'Irlande, le Japon, la Lettonie, les Pays-Bas et la Roumanie (Marty & Préget, 2010).

Aux *États-Unis*, la plupart des états et le gouvernement fédéral utilisent des ventes aux enchères pour l'allocation de leur bois. En fonction du degré de compétition, le Service des Forêts prend la décision de vendre le bois sous forme d'enchères sous pli scellée ou bien sous forme d'enchères ouvertes. Les ventes sont annoncées trente jours avant la date prévue de la tenue de l'enchère et le prix de réserve est calculé selon une formule qui utilise des estimations sur la valeur du bois plus une marge fixe afin de tenir compte des bénéfices et des risques.

Dans ce contexte et plus particulièrement pour la région du nord-ouest des États-Unis, Baldwin *et al.* (1997) ont analysé l'historique des soumissions gagnantes de 1975 à 1981. Leur objectif consistait à comprendre si la variation des prix pouvait mieux s'expliquer par une collusion entre les soumissionnaires ou plutôt par des variations dans les conditions d'offre du bois. En développant et en testant cinq modèles pour des stratégies d'offres différentes, soit *un modèle non coopératif sans effet sur l'offre*, *un modèle non coopératif avec effet sur l'offre*, *un modèle de collusion sans effet sur l'offre*, *et deux autres modèles comprenant à la fois la collusion et l'effet sur l'offre*, les auteurs ont montré que les offres gagnantes pouvaient s'expliquer notamment par une collusion entre les soumissionnaires. Ce phénomène pouvait ainsi justifier la chute des prix de la valeur du bois durant cette période.

Quand à Brannman (1996), il s'est basé sur les données de la même région pour développer un modèle qui guide les enchérisseurs sur la façon de former leurs soumissions d'après le niveau de compétition sur le marché. Ses résultats montrent que le degré de compétition affecte beaucoup plus les soumissions des enchérisseurs lors d'enchères scellées que pour des enchères ascendantes. L'auteur affirme que les soumissions les plus élevées sont obtenues via les enchères scellées qui permettent de mieux atteindre les objectifs gouvernementaux à savoir l'obtention d'une grande valeur pour le bois et l'allocation efficace de la ressource forestière. Cette démonstration est faite sans nier la possible collusion qui peut aussi exister dans l'enchère sous pli cacheté.

Athey & Levin (2001) se sont aussi intéressés aux stratégies de mises des enchérisseurs. Ils ont plus particulièrement étudié l'effet des informations privées concernant les lots mis aux enchères sur le comportement des soumissionnaires. En développant un modèle reflétant le processus de la vente et en utilisant un historique de vente de bois dans deux formats d'enchère différents (l'enchère ascendante utilisée en Oregon et à Washington et l'enchère scellée utilisée en Californie), ils ont montré que la majorité des participants élaborent leurs propres estimations sur les différentes caractéristiques des lots de bois mis aux enchères avant de soumettre leurs offres. Une telle façon de faire affecte la structure optimale des soumissions et incite les enchérisseurs à adopter des comportements stratégiques. Les informations privées que les soumissionnaires exploitent jouent aussi un rôle important dans l'attribution du bois puisque les participants qui ont plus d'informations sont plus susceptibles de remporter l'enchère.

Non loin de ce contexte qui traite des informations privées sur les lots mis aux enchères, Li & Zheng (2012) ont développé un cadre d'analyse pour étudier le processus d'acquisition de ces informations et la préparation des offres pour la vente des bois aux enchères dans la région du Michigan. Deux types de modèle ont été considéré: l'un où les soumissionnaires sont supposés connaître l'information sur la valeur privée du bois *avant* leur décision d'entrer à l'enchère et un autre où les soumissionnaires tirent l'information sur la valeur privée des lots de bois *après* leur décision d'entrer dans la vente aux enchères. Les auteurs ont eu recours à la méthode bayésienne pour implémenter les deux modèles et illustrer leurs

observations. Tout d'abord, ils ont montré qu'il y a une similarité dans les deux modèles au niveau du nombre de participants potentiels dans l'enchère et au niveau de leurs offres, malgré le fait que le coût d'entrée dans les deux modèles ne soit pas la même. Ceci leur permet d'affirmer que ce coût d'entrée aux enchères des bois est constitué principalement par le coût de préparation des soumissions et par le coût d'acquisition des informations sur les lots. Parallèlement, les auteurs ont observé que plus le nombre d'acheteurs aux enchères est important et plus les soumissions sont élevées.

Zheng (2009) a proposé une méthode de calcul simple pour estimer le nombre optimal d'acheteurs potentiels dans la vente du bois aux enchères avec entrée endogène, où la théorie prédit que l'augmentation du nombre des soumissionnaires affecte négativement le revenu attendu du vendeur.

Dans une vision plus macro sur la vente du bois aux enchères, Athey et *al.* (2011) ont développé un modèle mathématique permettant de comparer les deux formes d'enchères utilisées aux États-Unis dans la vente du bois public. Ils se sont appuyés sur l'historique des ventes pour la période 1982-1990 au cours de laquelle les soumissionnaires étaient divisés en deux groupes: les entrepreneurs et les usines forestières. Les auteurs ont démontré que les enchères scellées attirent plus les entrepreneurs forestiers que les usines et que ces derniers génèrent plus de profit dans la majorité des cas. Les auteurs ont également constaté que la collusion se retrouve beaucoup plus dans les enchères ouvertes que les enchères fermées.

Quant à (Haile 2001), il a utilisé des données provenant du gouvernement américain pour étudier la dynamique de fonctionnement de l'enchère lorsqu'il existe une possibilité de revente de bois sur un second marché. Il dit que la volonté d'un entrepreneur de participer à l'enchère ne dépend pas seulement de la valeur du bois après la récolte et de sa transformation une fois qu'il gagne le lot, mais aussi de la possibilité d'achat et de vente sur un marché secondaire. En effet, l'existence d'un second marché augmente le nombre de participants à l'enchère et le degré de concurrence, ce qui engendre une augmentation dans la valeur du bois dans les offres des enchérisseurs. En contrepartie, cette valeur aura

tendance à diminuer dans le cas où le nombre de participants qui planifient acquérir le bois via le second marché est important.

Récemment Tatoutchoup (2013) a développé un cadre d'analyse pour étudier le paradigme des valeurs interdépendantes dans les soumissions des enchérisseurs lors d'enchères scellées et d'enchères ascendantes. C'est le cas notamment du bois dont la valeur peut être évaluée différemment par les enchérisseurs en fonction de leur propre estimation des coûts de récolte. En utilisant un modèle mathématique qui exploite des données provenant des États-Unis, l'auteur a déterminé la stratégie de soumission optimale pour une firme qui utilise l'enchère pour l'approvisionnement de bois sur pied.

En **France**, le système de la vente des bois aux enchères est très spécifique et même complexe par rapport aux autres systèmes dans le monde. La mise en marché des bois est assurée par l'*Office National des Forêts* (ONF) qui propose une offre variée pour les lots de bois : le bois mis aux enchères est vendu sur pied, par coupe entière, ou exploité et mis à la disposition des acheteurs en bord de route. Il y a même la possibilité de livraisons aux usines de transformation. Avant la vente, un catalogue contenant toutes les informations sur les lots des bois est publié. L'ONF utilise l'enchère scellée au premier prix. Les participants soumettent leurs candidatures par courriel avant la vente. Celui qui a la soumission la plus élevée supérieure au prix de réserve remporte l'enchère. Le prix de réserve défini par le vendeur est une information secrète.

Li & Tan (2000) ont apporté une explication sur la stratégie adoptée par l'ONF de garder le prix de réserve secret. Ils expliquent que c'est l'aversion aux risques des soumissionnaires qui favorisent la stratégie de ne pas divulguer le prix de réserve. Ils précisent qu'un prix gardé secret favorise la concurrence entre les différents enchérisseurs qui soumissionnent plus lorsqu'ils sont préoccupés par le risque. Dans le même contexte Li & Perrigne (2003) ont étudié la nécessité d'établir un prix de réserve tant pour l'Office National des Forêts que pour le futur acheteur. Leurs résultats montrent qu'un prix de réserve préalablement établi par l'ONF permettrait d'augmenter considérablement le profit généré, mais avec un moins grand nombre de lots de bois vendus.

Elyakime et *al.* (1994) ont montré, également dans le contexte du système français, qu'un prix de réserve annoncé avant de commencer le processus de la vente des bois aux enchères pourrait augmenter le gain espéré du vendeur. En effet, la littérature sur les enchères du bois plus particulièrement sur le prix de réserve reste encore ambiguë : certains affirment qu'un prix de réserve secret apporte plus de profit pour le vendeur et diminue le risque de collusion. D'autres prétendent qu'un prix de réserve public augmente encore plus le gain espéré du vendeur.

Bien que la définition du prix de réserve dans la théorie des enchères en général soit le prix le plus bas auquel le vendeur est prêt à vendre l'objet lors de sa mise à l'enchère, l'ONF ne semble pas respecter cette règle. En effet, Costa & Préget (2004) ont montré à travers une analyse des résultats des ventes aux enchères de l'ONF que 41% des lots vendus sur le marché de la Lorraine durant la période 2003 furent vendus à un prix inférieur au prix de réserve. Ceci prouve que les vendeurs réduisent le prix de réserve après avoir consulté les offres des soumissionnaires. Les auteurs ont aussi trouvé que 15% des lots invendus furent négociés après les enchères et que dans 74% des cas, ces négociations aboutirent à des ventes de lots avec un prix inférieur au prix de réserve.

Les lots invendus en France ne sont pas l'unique problème qui dévalorise la valeur du bois, il y a aussi la participation relativement faible des enchérisseurs dans les ventes qui affecte le résultat des enchères. Préget & Waelbroeck (2012) ont développé un cadre d'analyse pour comprendre ce problème. En utilisant des données relatives à la vente des bois provenant de la région de Lorraine, ils ont constaté que le niveau de participation des soumissionnaires dépend des caractéristiques des lots mis aux enchères. L'ONF a ainsi tout intérêt à bien contrôler les caractéristiques des lots avant de les mettre à l'enchère : le type de coupe, l'essence, les conditions de récolte, le volume et la composition du lot, etc. Les auteurs soulignent également que le degré de compétition entre les enchérisseurs est beaucoup plus élevé dans le cadre de lots de bois homogènes en termes d'espèce.

Malgré les différents problèmes soulevés par les auteurs sur le système d'enchères français, personne ne peut nier la longue expérience de l'ONF dans ce type de vente. Ceci lui a permis de développer un système flexible d'approvisionnement pour les industriels. Marty & Préget (2010) ont utilisé une approche socio-économique pour analyser l'évolution des différentes méthodes de vente du bois en France, en mettant l'accent sur l'évolution et les caractéristiques du mécanisme de vente aux enchères.

Il est important de préciser qu'il y a eu un changement législatif récent en France en matière de commercialisation des bois né d'un besoin de sécuriser l'approvisionnement des industriels de résineux. Plus particulièrement, la vente de résineux se fait maintenant via des contrats d'approvisionnement négociés de gré à gré. Une telle approche peut impliquer une meilleure maîtrise des coûts d'approvisionnement vu que les acheteurs n'ont plus à engager des coûts supplémentaires pour la détermination des lots de bois mis à l'enchère. Toutefois, l'enchère reste un outil apprécié pour le bois feuillu vu la difficulté d'estimer la valeur des bois sur pied pour cette essence (Marty 2010).

Le *Japon* est un autre exemple de pays connu par sa longue expérience dans la commercialisation du bois via les enchères depuis 1950. Reiffenstein et Hayter (2006) ont étudié les caractéristiques locales du système d'enchères au Japon. Les enchères sont organisées dans des endroits ouverts sous deux formes, soit sous plis scellées et sous forme ascendante. Lors d'enchères scellées, les participants soumissionnent par écrit sur différents lots simultanément et la soumission gagnante est ensuite annoncée au public. Dans les enchères ascendantes, les offres sont publiques. Les auteurs ont identifié comme caractéristiques affectant la performance du marché de bois dans chaque région le nombre d'enchères réalisées par mois, le volume de bois vendu, le nombre moyen de vendeurs par vente, le nombre moyen d'acheteurs par vente, la plage de fournisseurs et l'organisateur de l'enchère qui peut être un propriétaire forestier privé ou le gouvernement. Les auteurs ont également fait ressortir les avantages d'un tel système qui touchent autant le plan social que le plan économique. Sur le plan social par exemple, les enchères facilitent le contact et le partage d'information entre les vendeurs du bois et les acheteurs potentiels. Sur le plan économique, elles facilitent l'établissement d'un prix juste sur le marché du bois et

favorisent une allocation efficace de la ressource forestière. Ils ajoutent que les enchères de bois au Japon ont minimisé les coûts de transactions entre les petites scieries et les entrepreneurs forestiers, tout en contribuant à la spécialisation des scieries japonaises.

La **Roumanie** est un autre pays européen qui utilise le système d'enchères pour la vente du bois. Contrairement à la France, la Roumanie met à l'enchère du bois sur pied provenant des forêts publiques uniquement, et ce, que deux fois par année. Le pays utilise la forme d'enchère scellée qui est annoncée au moins trois mois à l'avance, des descriptions de lots ainsi que le prix de réserve étant fournis aux industriels.

Saphores et *al.* (2006) ont justement examiné le système d'enchères roumain avec un accent sur le problème de collusion qui limite souvent l'avantage économique de l'enchère. En utilisant un historique de ventes dans deux régions différentes du pays, ils ont pu détecter quelques formes de collusion. Cette dernière peut être faite via des pots de vin entre les participants (par exemple une entreprise qui en paie une autre pour qu'elle remporte l'enchère), un système d'alternance entre les offres des soumissionnaires et une offre fantôme (des soumissions truquées de la part des participants faisant l'apparence de concurrence). Pour remédier à ce problème, les auteurs ont proposé quelques solutions pour le gouvernement roumain, soit adopter et appliquer des lois contre la collusion ; minimiser les exigences que les enchérisseurs doivent satisfaire pour participer à l'enchère ; et coordonner les dates d'organisation des enchères avec le calendrier de récolte forestière pour s'assurer que le bois est offert aux enchères lorsque la demande en approvisionnement est élevée.

Toujours dans le contexte de la Roumanie, Antonoaie et *al.* (2011) ont fait ressortir les critères clés selon lesquels l'enchère est organisée: le type de bois (ronds ou non coupé), les critères d'établissement de prix (selon l'espèce, le volume, la possibilité d'usage, l'accessibilité aux lots, les coûts forestiers, les coûts administratifs, etc..) et le type de législation nationale pour le système d'enchères. Ensuite, en se basant sur l'historique des ventes réalisées entre 2007 et 2010, ils ont observé que de plus en plus d'enchères ont lieu au fil des ans. Néanmoins, cette fréquence pour l'organisation des enchères n'est pas liée à

un volume supplémentaire de bois à vendre, mais plutôt au fait que plusieurs lots n'ayant pas trouvé preneurs sont remis en vente plus tard durant l'année. Une telle façon de faire semble d'ailleurs entraîner des coûts de gestion importants.

Tout comme la Roumanie, l'**Irlande** transige depuis 1997 la totalité de la ressource forestière provenant de la forêt publique à travers un système d'enchères électronique. Une compagnie appartenant à l'état nommée *Coillte* met en vente le bois sur une base bimensuelle, alternant entre les ventes de bois sur pied et les ventes de bois récoltés. Le prix de réserve n'est pas divulgué et est calculé selon une méthodologie mise au point par McKinsey & Co qui combine deux éléments pour l'estimation du prix : la volonté de l'acheteur de payer et l'historique des prix (Healy 2014).

L'**Australie** a elle aussi implanté depuis 2004 un système de ventes aux enchères, lequel a migré de l'appel d'offres fermées vers l'enchère électronique de type simultanée à multiples tours. L'organisation *VicForests* est plus particulièrement responsable de la récolte, de la régénération et de la commercialisation du bois provenant de la forêt publique, selon la possibilité annuelle de coupe définie par le ministère de l'environnement du pays. Les clients de *VicForests* ont ensuite la possibilité de vendre leurs bois à d'autres usines grâce à une plateforme électronique pour un second marché (VicForests.com 2014).

En **Russie**, le système d'enchères a été introduit en 1997. (Jacobsen 1999) a analysé de près les caractéristiques de l'enchère dans ce pays. Trois formes d'enchère sont développées par le Service Fédéral des Forêts : les enchères ouvertes compétitives, les enchères combinées et les soumissions avec longue durée.

Au cours des dernières années, le **Canada** a commencé à suivre la même voie en mettant en vente une partie de sa ressource de bois dans des systèmes d'enchère. C'est notamment le cas de la Colombie-Britannique qui depuis 2003 vend plus de 20% de sa ressource de bois via des enchères. La province du Manitoba utilise aussi un système d'enchères pour la vente de son bois alors que le Québec vient récemment d'introduire ce nouveau système dans le cadre de la réforme de son régime forestier.

Pour le cas de la *Colombie-Britannique*, la vente du bois sur pied via des enchères est assurée par l'organisation *BC Timber Sales (BCTS)* qui utilise les résultats d'enchères scellées pour établir un prix de marché qui servira par la suite de base pour les volumes de bois accordés en garantie à long terme. D'après Athey et *al.* (2002a), ce mécanisme permet de minimiser l'impact du gouvernement sur le prix du bois tout en permettant une coupe efficace.

Athey et *al.* (2002b) ont déterminé qu'un pourcentage de 70% de la valeur marchande du bois estimée maximise les gains du vendeur. Leur étude reposait sur quatre grandes hypothèses tirées de la littérature des enchères : pas d'entente ni de collusion entre les soumissionnaires, les soumissionnaires misent dans le but de maximiser leurs revenus, le nombre de soumissionnaires potentiels ne dépend pas du prix de réserve, et dans une zone donnée, les mises des enchérisseurs sont élaborées indépendamment de leur probabilité de distribution. L'organisation BCTS a utilisé ce résultat pour fixer un prix de réserve en dollars par mètres cubes de bois le plus juste possible afin de guider les enchérisseurs dans leurs mises.

Dans ce contexte, Hill & Shneyerov (2013) ont développé un cadre d'analyse pour étudier si les soumissions des enchérisseurs en Colombie-Britannique sont basées sur des valeurs privées ou des valeurs communes de l'objet. Les auteurs rappellent que l'incertitude quant à la valeur du bois à laquelle font face acheteurs et vendeurs conduit à analyser l'enchère selon deux perspectives différentes : Enchère avec *valeur privée* de l'objet et enchère avec *valeur commune* de l'objet (qui est un cas particulier de l'enchère avec valeur interdépendante). En utilisant l'historique des ventes du bois aux enchères entre janvier 2004 et décembre 2006, les auteurs ont pu démontrer que les soumissions des enchérisseurs sont justement basées sur des valeurs communes pour la valorisation des lots du bois dans l'enchère. Plus précisément, aucun enchérisseur ne connaît exactement la valeur du bois mis à l'enchère, le bois ayant la même valeur intrinsèque pour chaque acheteur. Ainsi l'évaluation de la valeur de bois est tellement interdépendante que si l'information sur le bois mis à l'enchère était la même pour tous, les acheteurs auraient fort possiblement la

même évaluation. Par leurs résultats, les auteurs expliquent ainsi pourquoi les prix des enchères ne se regroupent pas à proximité du prix de réserve fixé par l'organisation BCTS comme ça devrait être le cas si les enchérisseurs utilisaient des valeurs privées dans leurs soumissions.

Quant à Niquidet & Kooten (2006), ils ont développé un modèle de vente du bois afin d'étudier comment l'absence de concurrence pourrait être un obstacle dans l'utilisation d'un prix de marché provenant de celui établi lors de l'enchère. En utilisant l'historique des ventes de janvier 1999 à août 2002 pour les zones nord de la Colombie-Britannique, les auteurs ont pu démontrer que les offres inférieures au prix de réserve sont dues à l'absence de concurrence, ce qui affecte considérablement le prix du bois. Comme la concurrence, la collusion a aussi un grand impact sur les offres des participants dans les enchères.

Klemperer (2002) précise que les défis les plus importants dans la conception d'un système de vente via les enchères concernent une saine concurrence et une bonne politique de prévention de la collusion. Parmi les causes possibles de collusion, la proximité géographique des firmes s'avère une problématique non négligeable.

Price (2008) a justement analysé un échantillon de données tiré de la Colombie-Britannique et a pu montrer que les firmes situées très près les unes des autres s'entendaient souvent entre elles avant de participer aux enchères et que leurs mises étaient alors très inférieures à la moyenne prévue. Quand la distance entre les entreprises augmente, la différence entre les mises et les offres estimées semble diminuer.

Lange et al. (2011) ont étudié l'influence de l'introduction d'un marché secondaire de vente de bois en Colombie-Britannique, en utilisant l'historique de vente des bois sur pied de 1996 à 2000 de même que des expériences en laboratoire. En effectuant une comparaison entre les acheteurs ayant une possibilité de revendre le bois sur un marché secondaire et ceux ne l'ayant pas, les auteurs montrent que les mises des enchérisseurs sont fortement influencées par l'existence d'un marché secondaire dans le cadre d'enchères scellées.

Au **Manitoba**, le bois est aussi vendu sur pied sous forme d'enchère scellée. La province émet un avis de vente des bois aux enchères contenant les caractéristiques des bois (volume, lieu, type de forêt), le prix minimum, le temps pour réaliser la coupe, etc. Les soumissionnaires intéressés déposent une offre scellée contenant la valeur de bois sur pied, selon les volumes estimés, plus une cotation d'exécution pour les travaux. Celui qui offre le montant total le plus élevé remporte l'enchère (Manitoba Conservation, 2014). Il n'existe toutefois pas dans cette province de système de transposition de prix pour la valeur du bois sur le marché.

Le **Québec** est la troisième province canadienne faisant appel au système d'enchères électronique pour vendre une partie de sa ressource forestière. Pour ce contexte, Farnia et al. (2013a) ont étudié différents comportements des enchérisseurs dans leurs mises. Ils se sont particulièrement intéressés au format d'enchère à tours multiples. Ils ont développé un modèle mathématique de programmation linéaire pour tester et sélectionner la meilleure stratégie d'offres parmi cinq approches proposées : 1. L'approche *d'une mise aléatoire* où l'offre de l'enchérisseur sera établie entre un prix minimum (celui du prix de réserve) et un prix maximum (le prix maximum que l'enchérisseur est prêt de payer) ; 2. L'approche *d'un comportement fixe*, où l'enchérisseur soumissionne en fonction de son aversion face au risque (mise correspondant à la valeur maximale si le participant a une aversion au risque, mise correspondant au prix de réserve dans le cas contraire) ; 3. L'approche *adaptative*, dans ce cas les enchérisseurs soumissionnent en fonction du temps restant pour assurer leur besoin en approvisionnement ; 4. L'approche *d'apprentissage*, dans laquelle les futurs acheteurs bénéficient des différentes informations disponibles des enchères passées pour soumettre leurs offres ; et 5. Une combinaison des approches *adaptative & apprentissage*. Les expérimentations montrent que l'approche adaptative et celle qui combine l'apprentissage et la prise en compte du temps (approche adaptative) offrent les meilleurs résultats en termes de profit pour les acheteurs. Les auteurs ont aussi proposé une certaine configuration de différents paramètres stratégiques des enchères comme le nombre de ventes aux enchères, le nombre d'enchérisseurs, la taille des lots, etc., permettant l'augmentation du profit du vendeur (gouvernement).

Toujours pour la province de Québec, Farnia et *al.* (2013b) ont proposé une nouvelle application de l'enchère combinatoire afin d'améliorer le système existant. Les auteurs proposent l'ajout d'une troisième caractéristique dans les mises des soumissionnaires qui englobent actuellement une combinaison essence / qualité du bois pour les peuplements forestiers proposés à l'enchère. L'enchérisseur aurait ainsi la possibilité de présenter son offre pour chaque produit à différentes périodes de temps reflétant sa préférence de livraison. Les auteurs prétendent que cette nouvelle application pour les enchères combinatoires offre à la fois des avantages économiques et environnementaux. Ils argumentent que le système proposé est plus flexible aux industriels forestiers vu qu'il leur donne la possibilité d'exprimer exactement leurs besoins en approvisionnement du bois.

Le Tableau 1 résume les différents travaux répertoriés et synthétise la réponse à la question ***Q2*** : *Quelles sont les thèmes abordés par les auteurs dans leurs travaux sur les enchères du bois?* En effet, les différents travaux menés dans la littérature ont étudié un certain nombre des thèmes touchant la transition de la ressource forestière via un système d'enchères, comme par exemple les stratégies de mise pour gagner les lots de bois, les formes de collusion trouvées et les mesures pour l'anticiper, la stratégie face au prix de réserve quant à sa manière de calcul, etc.

Tableau 1: Résumé des articles décrivant les enchères de bois à travers le monde

Pays étudié	Auteurs	Thèmes ou problématiques étudiées
États -Unis	Baldwin et al. 1997	Détection de collusion
	Branman, 1996	Compétition dans l'enchère
	Athey & Levin, 2001	Rôle des informations privées dans l'enchère
	Li & Zheng, 2012	Processus de préparation à l'enchère
	Zheng, 2009	Nombre de soumissionnaires optimal
	Athey et al., 2011	Comparaison de deux formes d'enchères
	Haile, 2001	Marché secondaire
	Tatoutchoup, 2013	Soumission optimale
France	Li & Tan, 2000; Li & Perrigne, 2003	Prix de réserve secret
	Elyakime et al., 1994 ; Elyakime & Loisel, 2005	Prix de réserve public
	Préget & Waelbroeck, 2012	Degré de participation aux enchères
	Marty & Préget, 2010	Caractéristiques des enchères
	Marty, 2010	Inconvénients des enchères
Japon	Reiffenstein & Hayter, 2006	Caractéristiques locales
	Yoshiya Iwai, 2002	Avantages des enchères
Roumanie	Saphores et al., 2006	Formes de la Collusion
	Antonoaie et al., 2011	Critères des enchères
Canada	Athey et al., 2002a	Mécanisme de transposition de prix dans l'enchère
	Athey et al., 2002b	Prix de réserve
	Niquidet & Kooten, 2006	Concurrence dans l'enchère
	Price, 2008	Formes de collusion
	Lange et al., 2011	Marché secondaire
	Farnia et al., 2013a	Stratégies des soumissions
	Farnia et al., 2013b	Enchère combinatoire
Irlande	Coillte Timber Sales (2014)	Description du système d'enchères irlandais
Russie	Jacobsen (1999)	Obstacles du système d'enchère
Australie	Vicforests.com	Description du système d'enchère des bois

La réponse à la question **Q3** : *Quelles sont les principales caractéristiques des différents systèmes d'enchères de bois étudiés?* est illustrée dans l'Annexe A.

Ainsi, grâce à la littérature, nous avons pu identifier pour plusieurs pays l'organisme responsable de la gestion des enchères du bois, le format adopté, la fréquence, le pourcentage des bois publics mis aux enchères, le type des bois vendu, la présence ou non d'un mécanisme de transposition des prix de même que plusieurs autres caractéristiques propres à chaque pays.

Tous les pays étudiés ont opté pour une gouvernance publique des enchères afin plus de transparence. Alors que certains pays optent pour vendre la totalité de leurs bois provenant des forêts publiques lors de ventes aux enchères, comme c'est le cas de la Roumanie, de l'Australie et de l'Irlande, d'autres choisissent de n'en offrir qu'une partie comme c'est le cas en Colombie-Britannique. Les périodes annuelles des enchères semblent de plus varier selon les systèmes étudiés, de même que le mode de vente, c'est-à-dire bois récoltés versus bois sur pied. Ainsi, quelques pays permettent seulement la mise en vente de lots de bois sur pied, comme c'est le cas aux États-Unis, au Canada, en Russie et en Roumanie. D'autres, tels que le système français, celui du Royaume-Uni de même que l'Irlande, permettent la vente de lots de bois à la fois sur pied et récoltés. En Australie, précisément dans l'État de Victoria, les bois sont vendus récoltés et livrés à l'usine. Les marchés du bois permettant à la fois la vente de bois sur pied et celle de bois récoltés permettent ainsi une plus grande flexibilité dans leur système d'approvisionnement pour les industriels. Il en est de même pour la fréquence d'organisation des enchères qui varie selon le pays et qui se veut une autre caractéristique pour la flexibilité du système offert.

Pour le mécanisme de transposition de prix du bois, seule la Colombie-Britannique utilise un tel mécanisme.

Il est important de mentionner qu'il y a des pays qui offrent à leurs industriels forestiers la possibilité d'un marché secondaire, permettant ainsi aux acheteurs de vendre de nouveau

leurs bois comme c'est le cas de l'Australie. D'autres pays interdisent cette pratique comme la Roumanie.

Maintenant que nous avons compris la dynamique de fonctionnement de l'approvisionnement forestier via un système d'enchères, nous allons jeter un œil à l'approvisionnement collaboratif dans les enchères.

2.3 L'approvisionnement collaboratif dans les enchères

Au cours des dernières années, de nombreuses organisations ont cherché à établir des collaborations avec leurs fournisseurs, leurs clients et même leurs concurrents, de façon à mieux synchroniser les opérations tout en diminuant leurs coûts d'opération. L'approvisionnement électronique collaboratif (*Collaborative E.-procurement*), parfois appelé approvisionnement coopératif (*cooperative purchasing*) ou achat en groupe (*group buying*), en constitue un bel exemple. Il est en effet considéré comme l'une des stratégies d'approvisionnements les plus compétitives dans un environnement d'affaires dynamique où l'on cherche typiquement à « faire plus avec moins ». Nous nous sommes donc intéressées à cette forme particulière d'approvisionnement pour nous guider par la suite dans l'établissement de stratégies d'approvisionnement de bois via les enchères. Dans ce qui suit, nous illustrons donc les thématiques abordées dans la littérature concernant l'approvisionnement collaboratif via un système d'enchères.

Wang & Song (2008) ont proposé un modèle d'enchères combinatoires basé sur l'approvisionnement collaboratif en ligne. Les auteurs ont suggéré l'introduction d'une troisième entité au processus traditionnel de vente aux enchères constitué essentiellement de vendeurs et d'acheteurs. Leur modèle est composé de trois groupes de joueurs : *l'agence de vente aux enchères* qui est un organisme économique indépendant responsable de la gestion des transactions dans le processus d'enchère entre les vendeurs et les futurs acheteurs, *les agents-acheteurs* qui ont leur propre système d'approvisionnement électronique et *les agents-vendeurs*. Les auteurs ont analysé le cas où l'offre totale des vendeurs satisfait les besoins en approvisionnement des acheteurs. Dans leurs soumissions, ces derniers utilisent le mécanisme des enchères combinatoires profitant de son avantage pour combiner plusieurs éléments hétérogènes dans leurs achats. En développant un modèle

mathématique d'optimisation qui a pour fonction la minimisation des coûts d'achats tout en maximisant le nombre de vendeurs, les auteurs ont pu démontrer l'efficacité d'un tel système qui combine à la fois les points forts des enchères combinatoires et les bienfaits d'une entité indépendante qui favorise le processus de négociation et de collaboration entre les deux parties. De plus, les auteurs ont démontré que les acheteurs et les vendeurs qui participent à un tel marché peuvent profiter de plusieurs avantages tels que l'expression de divers besoins commerciaux, la planification d'une production flexible en se basant sur les appels d'offres combinatoires des acheteurs, la négociation entre eux, la réduction des prix, etc. En réalisant des expériences, les auteurs montrent que le modèle d'enchères combinatoires basé sur l'approvisionnement électronique collaboratif (*combinatorial auction model for collaborative e-procurement*) est un mécanisme efficace qualitativement et quantitativement pour les acheteurs ainsi que pour les vendeurs.

Toujours dans le contexte des enchères combinatoires, Song et *al.* (2009) ont proposé un nouveau modèle de vente aux enchères inverse qui considère la relation d'affaires mutuelle entre les fournisseurs dans la présentation de leur offre. Dans leur nouvelle approche, les auteurs permettent à un groupe de fournisseurs de services de collaborer ensemble et de publier leur offre comme une offre unique au priseur. Les auteurs expliquent que cette manière de faire permet l'utilisation de la stratégie de groupe pour accroître la capacité concurrentielle de différents groupes de fournisseurs qui concourent ensemble pour gagner l'enchère, ce qui permet de réduire les conflits ainsi que le temps de négociation entre les participants en comparaison au modèle d'enchères combinatoires traditionnel existant sur le marché (chaque fournisseur présente son offre ou ses offres seul pour un ensemble de services). Les auteurs ont ensuite testé leur nouveau modèle dans un environnement de simulation pour étudier son efficacité économique tout en le comparant avec l'ancien modèle (sans collaboration). Les résultats montrent que le nouveau modèle permet de trouver la meilleure combinaison de fournisseurs qui minimise le coût total des services pour les clients tout en réduisant les conflits entre les fournisseurs et en maintenant les exigences de qualité dans les services offerts.

Keskinocak & Savasanelil (2008) ont quant à eux étudié l'approvisionnement en groupe, particulièrement la collaboration horizontale entre des firmes concurrentes au niveau de l'approvisionnement. Ils se sont intéressés à des concurrents qui se procurent ensemble des items qui seront par la suite transformés de manière indépendante par chacun. Les auteurs ont examiné les effets de la collaboration sur les acheteurs (firmes concurrentes) et les vendeurs dans un marché caractérisé par une sensibilité de prix et une capacité d'approvisionnement. Ils ont d'abord analysé le cas de n acheteurs avec capacité infinie d'approvisionnement et démontré que ces derniers ont toujours intérêt à collaborer pour augmenter leurs profits. Ensuite, ils ont considéré le contexte de deux acheteurs de taille différente avec capacité d'approvisionnement limitée. Leurs observations prouvent que la firme la plus petite n'a intérêt à collaborer que si la collaboration lui permet d'augmenter sa capacité d'approvisionnement d'une manière significative. Si les bénéfices obtenus de la collaboration s'avèrent limités, la petite firme n'aura alors pas d'intérêt à collaborer. Parallèlement, les auteurs ont constaté que c'est la firme de plus grande taille qui a la plus grande influence sur le processus de collaboration. En ce qui concerne les conditions qui rendent la collaboration rentable, les auteurs démontrent qu'il sera plus profitable de vendre des petits lots à plusieurs acheteurs qu'un grand lot à une seule firme.

Dans un contexte plus particulier, Chen et *al.* (2002) ont analysé les enchères d'acheteurs groupés qui est un exemple concret d'approvisionnement collaboratif. Les auteurs définissent d'abord les enchères d'acheteurs groupés comme un mécanisme permettant aux acheteurs qui souhaitent acheter un produit et/ou un service particulier dans une marge de temps donnée d'unir leurs forces via un groupe d'achat formé spécifiquement pour accomplir la mission d'achat désirée. Ils ajoutent que les enchères d'achats groupés sont constituées essentiellement de deux cycles : le cycle d'offre et le cycle de soumissions. Dans le cycle d'offre, les vendeurs affichent d'abord leurs courbes de prix pour le produit désiré ainsi que la période de l'enchère, puis dans le cycle de soumissions les acheteurs font tour à tour leurs mises en fonction de leurs temps d'arrivée. Une fois l'enchère terminée, ils pourront alors bénéficier d'escomptes de quantité. Dans leur modèle mathématique, les auteurs ont focalisé leur intérêt sur le deuxième cycle d'enchères d'acheteurs groupés pour déterminer la stratégie optimale des soumissions pour les groupes d'acheteurs.

Chen et *al.* (2006) ont également démontré que la coopération dans les enchères d'acheteurs groupés génère des bénéfices tant pour les vendeurs que pour les acheteurs. En effet, plus le nombre de soumissions est important dans les enchères d'acheteurs groupés, plus les prix offerts de l'objet mis à l'enchère et les quantités transigées sont faibles. Ceci incite les acheteurs coopératifs à aller chercher plus de volumes, ce qui est profitable pour les vendeurs. Cette dynamique demande toutefois un grand échange d'information entre les acheteurs sur leurs besoins et situations. Les vendeurs ont donc intérêt à établir efficacement leurs courbes de prix et à mettre en place un bon mécanisme de partage d'information entre les acheteurs pour influencer positivement l'enchère. Les auteurs font appel ensuite à la modélisation mathématique et prouvent que les mises faites via un modèle coopératif d'approvisionnement sont toujours élevées par rapport à celles faites individuellement.

Kauffman et *al.* (2010) ont plutôt étudié les incitatifs à introduire dans les enchères d'acheteurs groupés pour faire face au « phénomène d'inertie de démarrage ». Les auteurs expliquent que les participants potentiels à l'enchère ont tendance à présenter leurs soumissions après un certain temps d'attente jusqu'à ce que le prix des items décroisse à un niveau acceptable, ce qui explique le nombre faible de mises au début des enchères d'acheteurs groupés. Pour remédier à ce problème, les auteurs ont exploré trois mécanismes d'incitation pour attirer d'avantages les clients: un premier incitatif basé sur le séquençement ou le rang des participants (pour profiter des escomptes de volume l'acheteur doit être parmi les premiers participants), un deuxième incitatif basé sur le temps (commander dès que possible afin d'être qualifié pour un escompte) et un troisième incitatif basé sur la quantité commandée (le nombre total d'items commandés doit atteindre un certain niveau). Ils ont ensuite effectué une série d'expériences dans le contexte des enchères d'acheteurs groupés afin de tester ces incitatifs. Les résultats montrent que les incitatifs basés sur le rang et sur le temps ont un effet important sur les acheteurs.

Hsieh (2010) a étudié l'achat en groupe dans le contexte des enchères inverses. Il considère le cas d'un acheteur délégué qui regroupe les différents besoins des acheteurs et dresse une

liste des différents articles qu'il veut acheter à travers une offre combinée. Les fournisseurs présentent ensuite leurs offres pour les lots des articles qu'ils peuvent fournir. L'auteur prétend qu'une telle manière de faire permet aux acheteurs collaborant ensemble de jouir de rabais sur les quantités sans commander plus que leurs besoins réels. Pour les vendeurs, l'achat en groupe leur permet de profiter d'agrégations de la demande, engendrant des coûts de marketing et de distribution moins élevés. Finalement, en développant un modèle mathématique d'optimisation, l'auteur a résolu le problème de détermination des gagnants tout en minimisant le coût total d'approvisionnement.

Wang & Zhang (2010) ont déterminé la stratégie optimale pour la passation des commandes dans les enchères d'achats groupés en utilisant des modèles mathématiques. Ils se sont intéressés au cas où plusieurs détaillants (plus que trois) participent au processus de négociation. Les auteurs ont pu démontrer que les détaillants ont tendance à acheter plus d'items via le système d'achat groupé que lors des enchères à prix fixe. Cette conclusion est valable aussi pour deux détaillants. Parallèlement, leur analyse montre que les petits détaillants ont intérêt à participer à ces groupes d'achat vu qu'un tel système leur permet de profiter de réductions de prix tout en augmentant leur espérance de profit.

Jing & Xie (2011) ont étudié le système d'achats groupés comme un moyen facilitant l'interaction sociale entre les clients, ce qui améliore davantage le mécanisme de vente. Les auteurs expliquent que les clients les plus informés et expérimentés peuvent jouer le rôle d'« agents de vente », guidant de nouveaux acheteurs moins informés sur le produit via un partage d'informations par exemple. La réussite d'une telle stratégie dépend fortement de la capacité de l'acheteur expérimenté à agir en tant qu'agent de vente. Sa communication interpersonnelle avec les clients doit donc être efficace. Les acheteurs les moins expérimentés doivent toutefois avoir une évaluation adéquate des items pour favoriser positivement cette dynamique de vente.

Quant à Hsieh & Lin (2012), ils ont fait ressortir les avantages de l'achat en groupe à travers une étude comparative entre deux modèles : un premier modèle nommé *enchère combinatoire inverse indépendante* où chaque acheteur indépendant participe à l'enchère

seul, et un deuxième modèle nommé *enchère combinatoire inverse basée sur un groupe d'achat* où plusieurs futurs acheteurs délèguent la vente à un acheteur de groupe qui participe à l'enchère au nom de tous les acheteurs. En développant des modèles mathématiques, les auteurs ont pu observer que le deuxième modèle d'achat en groupe donne de meilleures performances en termes de coûts de transaction et d'achat. Les auteurs ajoutent que l'achat en groupe est un modèle de collaboration dans les affaires utilisé dans de nombreuses entreprises. Ce modèle offre une réduction de coûts de distribution, de coûts de production et de coûts de marketing pour les vendeurs. Les acheteurs bénéficient également de coûts d'achats réduits grâce aux rabais fondés sur les quantités.

Plusieurs entreprises se regroupent pour acquérir certaines ressources et bénéficier ainsi d'économies d'échelle. Le modèle d'enchère combinatoire est presque le seul modèle utilisé pour l'approvisionnement électronique collaboratif.

2.4 Synthèse

Les différents travaux répertoriés dans ce travail ont fait ressortir d'importants défis et problématiques sur lesquels gouvernements, industriels et chercheurs sont certainement appelés à se pencher. En effet, il semble exister de très nombreuses formes d'enchères qui ont connu succès ou échec selon le contexte où elles ont été appliquées. Il s'avère aussi que de nombreuses stratégies de mise de la part des acheteurs permettent d'augmenter significativement les gains découlant de l'acquisition de bois à l'enchère. La réglementation semble par ailleurs jouer un rôle important dans la dynamique d'échange de vente en ligne. De nombreux auteurs ont de plus souligné la difficulté des entreprises à se familiariser avec ce nouveau système d'achat, le besoin d'intégration avec leur stratégie organisationnelle, le temps d'adaptation et de formation nécessaire et surtout la grande incertitude entourant l'acquisition de leur besoin en matière ligneuse, d'où la nécessité de revoir leur processus d'approvisionnement et de réfléchir sur des stratégies d'approvisionnement leur permettant de sécuriser leur approvisionnement en bois. Certes la collaboration interentreprises représente un enjeu important dans la réussite de ces stratégies mais les travaux répertoriés ont démontré qu'elle n'était pas une approche courante dans les enchères. Pratiquement tous les travaux trouvés portent plutôt sur le concept d'achat ou d'approvisionnement en groupe.

La revue de littérature a finalement mis en évidence le volet peu traité abordant quelles stratégies d'approvisionnement mettre sur pied en contexte d'enchères du bois. Puisqu'au Québec, l'introduction des enchères électroniques pour l'allocation des bois est très récente, il devient judicieux de se pencher sur cette question. De ce fait, la réponse à la question **Q4** : *Quelles sont les différentes stratégies d'approvisionnement définies pour remédier à l'incertitude du système d'enchère ?* est qu'il n'existe pas dans la littérature sur les enchères de réponse précise. Le travail proposé ici se veut donc un premier pas vers l'établissement de stratégies d'approvisionnement qui puissent guider les industriels forestiers dans leur planification. La méthodologie de recherche que nous avons adoptée pour réaliser ce projet sera ainsi présentée dans le chapitre qui suit.

Chapitre 3 : Méthodologie de la recherche et modélisation

Ce projet de recherche s'intéresse aux stratégies d'approvisionnement dans un contexte d'enchères de bois. Pour ce faire, nous avons considéré le cas d'une compagnie forestière possédant deux scieries et trois papetières dans une région donnée du Québec (cas fictif mais inspiré d'une entreprise réelle dont plusieurs de ses unités d'affaires sont situées en Mauricie, Figure 9).

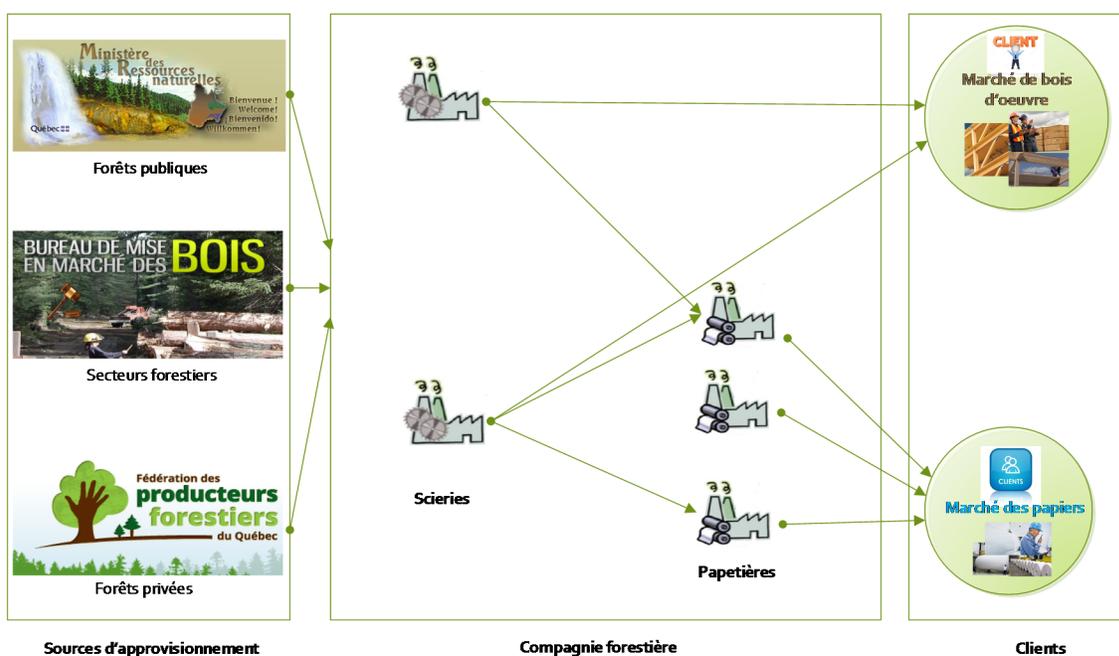


Figure 9: Schématisation des acteurs du cas d'étude

Cette compagnie désire instaurer une série de stratégies d'approvisionnement centrales qui intègrent les enchères de bois, de façon à sécuriser d'avantage son approvisionnement en matière ligneuse et ainsi mieux répondre à la demande, tout en assurant une utilisation plus efficace de la fibre de bois. Pour ce contexte, nous avons tout d'abord développé une stratégie de mise optimale dans le cas des enchères de bois scellées au premier prix, puis exploré différentes stratégies d'approvisionnement et mesurer leur impact sur la

planification des activités de la compagnie forestière. La prochaine sous-section décrit plus en détail la méthodologie de recherche suivie.

3.1 Méthodologie de la recherche

Dans le but d'explorer une série de stratégies d'approvisionnement pour une compagnie forestière désirant mieux exploiter le système d'enchères québécois, quelques étapes ont dû être effectuées. Nous avons tout d'abord cherché à bien comprendre la dynamique des enchères du bois et ses particularités, ce qui a mené à l'élaboration de la revue de littérature systématique présentée au chapitre précédent. En supposant une compagnie forestière donnée devant acquérir une partie de ses besoins en fibre aux enchères, nous avons ensuite cherché à mettre sur pied une approche de mise optimale pour des enchères scellées au premier prix en nous inspirant du modèle mathématique développé par Tas et *al.* (2012). Ces derniers ont en effet mené une étude théorique permettant de déterminer la soumission optimale qui maximise le gain dans le cadre d'enchères scellées avec N joueurs. Nous avons donc exploité ce modèle de mise dans le cadre d'enchères scellées de bois au premier prix avec 3 joueurs. Comme nous n'avons pas eu l'occasion d'expérimenter le modèle dans un environnement réel, nous avons plutôt simulé plusieurs scénarios afin de valider s'il pourrait s'avérer un moyen d'aider la compagnie forestière dans la préparation de son offre d'une façon rationnelle. Une fois l'outil de calcul de soumission bien maîtrisé, nous avons dès lors pu mettre au point un modèle tactique de planification des opérations forestières qui exploite les valeurs de soumission afin de sélectionner la combinaison optimale de secteurs forestiers sur lesquels la compagnie forestière devrait miser tout en tenant compte d'un ensemble de contraintes opérationnelles. Le modèle a ensuite servi de base pour tester différentes stratégies d'approvisionnement: Un premier cas de base avec achat aux enchères et utilisation de ressource garantie, un second scénario avec stratégie d'achat sur terres privées, puis un dernier cas avec collaboration lors de la mise aux enchères. L'achat de la forêt privée représente une source d'approvisionnement flexible, c'est-à-dire que l'industriel forestier a plus de chance d'avoir l'essence qu'il désire. La collaboration a pour sa part l'avantage de diminuer le nombre de joueurs dans le processus de vente via les enchères, ce qui maximise la probabilité de gain pour la compagnie forestière, tout en conduisant à une stratégie de mise plus élevée. La ressource forestière obtenue dans les

enchères est mieux utilisée (moins de perte). Les stratégies ont donc été comparées pour en tirer les meilleures stratégies d'approvisionnement à adopter dans ce nouveau contexte.

La Figure 10 résume la méthodologie suivie pour réaliser ce travail. Les deux étapes principales du projet, à savoir une Étude scientifique générique présentée au chapitre précédent et une Modélisation & Étude expérimentale d'un cas inspiré d'une entreprise réelle, sont représentées en orange.

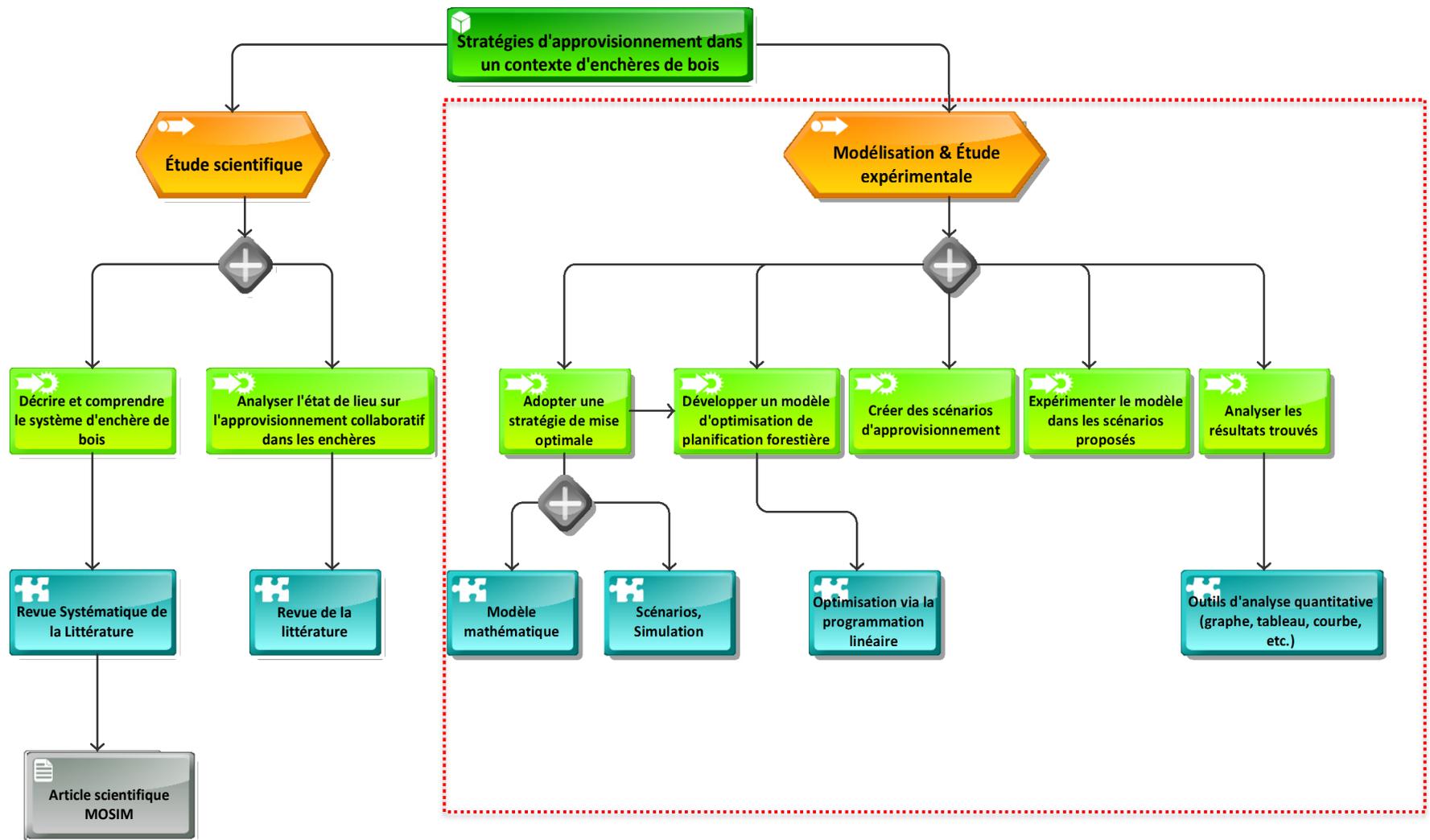


Figure 10: Étapes de réalisation de projet de recherche

Nous attaquons donc dans ce qui suit la partie hachuré en rouge (dans la Figure 10) avec beaucoup plus de détails, à savoir la modélisation de la mise optimale pour les enchères scellées, les hypothèses de travail, la modélisation mathématique pour chaque stratégie d'approvisionnement, l'expérimentation et les résultats

3.3.1 Modélisation de la mise optimale pour des enchères scellées au premier prix avec valeur privée et N joueurs

Dans cette sous-section, nous présentons le modèle mathématique que nous avons utilisé pour établir la stratégie de mise optimale d'une compagnie forestière, étant donné un certain nombre de participants à l'enchère et une certaine valeur associée à la ressource. Nous rappelons ici que le modèle d'enchères instauré par le BMMB est celui des enchères scellées au premier prix (ESPP). Dans ce type d'enchères, les enchérisseurs présentent simultanément leurs soumissions scellées au vendeur. L'enchérisseur offrant le prix le plus élevé remporte l'enchère et paie le prix de son offre (McAfee & McMillan 1987).

Pour analyser le comportement des offres des enchérisseurs, nous choisissons le paradigme de valeur privée (VP). C'est le cas où les soumissionnaires connaissent leur propre évaluation, tout en ayant une idée sur les évaluations des autres enchérisseurs. Le modèle le plus simple des ventes aux enchères avec valeur privée repose sur le cas dans lequel les évaluations des enchérisseurs sont indépendantes et issues d'une distribution uniforme (Klemperer 2004).

3.3.1.1 *Modèle mathématique des enchères scellées au premier prix avec valeur privée appliqué aux enchères de bois*

Le modèle d'enchère à considérer dans notre cas d'étude est basé sur les hypothèses suivantes :

$\mathcal{H}1$: Les soumissionnaires sont neutres au risque ;

$\mathcal{H}2$: Les évaluations des soumissionnaires suivent le paradigme de valeur privée (c'est à dire lorsque chaque acheteur connaît la valeur qu'a pour lui un objet ou un service au moment de la mise);

$\mathcal{H}3$: Les soumissionnaires sont symétriques (c'est à dire que les évaluations des enchérisseurs pour les différents secteurs forestiers sont issues de la même fonction de

distribution F , autrement dit deux enchérisseurs ayant la même évaluation pour un secteur forestier donné vont présenter la même soumission s'ils utilisent la stratégie de mise optimale) ;

$\mathcal{H4}$: Chaque soumissionnaire connaît sa propre valeur et a une idée sur l'intervalle I des autres évaluations personnelles des enchérisseurs avec $I = [P_{min}, P_{max}]$;

$\mathcal{H5}$: Le paiement est une fonction des offres (soumissions), c'est à dire qu'un soumissionnaire avec une évaluation v_{ij} va présenter une soumission $= B(v_{ij})$ où B est une fonction d'appel d'offres monotone croissante.

Description de cas à l'étude :

Nous allons considérer N soumissionnaires qui participent à une vente de bois aux enchères, chaque enchérisseur j ayant une évaluation v_{ij} pour chaque secteur forestier i . Les secteurs forestiers mis à l'enchère ont une plage de valeur entre P_{min} et P_{max} .

Notations mathématiques

La notation utilisée dans l'élaboration du modèle d'établissement de la mise optimale est la suivante :

N : Le nombre de soumissionnaires qui participent à la vente aux enchères.

P_{min} : Le prix minimum en dollars associé à un secteur forestier mis en vente aux enchères. Comme le prix de réserve n'est pas divulgué dans le contexte québécois des ventes de bois aux enchères, le P_{min} pourra être égale au prix estimé affiché par le BMMB pour un secteur forestier donné, ainsi $P_{min} = P_{estimé}$.

P_{max} : Le prix maximum en dollars associé à un secteur forestier mis en vente aux enchères. Ce prix est relatif à chaque compagnie et considéré comme la limite maximale qu'il est prêt à payer pour un secteur donné. Il pourra être calculé de la manière suivante : le revenu issu d'un secteur forestier moins les différents coûts engendrés, à savoir le coût de récolte et le coût de transport. Selon la préférence de la compagnie, un montant qui reflète ce qu'elle souhaite avoir comme profit minimum d'un secteur forestier donné pourra aussi être déduit, d'où la formule suivante : $P_{max} = Revenu_{secteur} - Coûts_{secteur} - Gain_{min}$

La limite de cette formule établissant la borne maximale est associée au fait qu'elle ne considère que le comportement d'un joueur alors que plusieurs autres joueurs participeront

à l'enchère. Une variante peut donc consister à anticiper le comportement des autres joueurs, en calculant par exemple la borne maximale d'un secteur donné pour chaque joueur, puis en établissant une borne maximale moyenne pour tous les joueurs $P_{maxMoyen}$. Il s'agit ensuite de remplacer P_{max} en fonction de cette valeur. Il faut toutefois admettre que chaque joueur n'a pas forcément des données exactes sur les coûts et le revenu souhaité des autres joueurs. Ici c'est le retour d'expérience de l'enchérisseur et son degré de connaissance du marché et des concurrents qui participent à la vente qui joueront un rôle important dans l'habilité à établir cette valeur.

v_{ij} : Les évaluations personnelles des soumissionnaires j pour les secteurs forestiers i , appartenant à l'intervalle $I = [P_{min}, P_{max}]$.

b_{ij} : Les différentes soumissions des enchérisseurs j pour les secteurs forestiers i ayant une distribution uniforme dans l'intervalle I .

F : représente la fonction de distribution des évaluations des enchérisseurs. On considère ici le cas où F est uniforme, c'est à dire que les évaluations des enchérisseurs sont uniformément distribuées dans l'intervalle $I = [P_{min}, P_{max}]$.

Formules mathématiques :

Les équations proposées par Tas et al. (2012) et permettant d'établir la stratégie qui maximise le gain obtenu d'un secteur forestier vendu aux enchères sont les suivantes :

$$\pi_{ij} = (v_{ij} - b_{ij}) * [F(B^{-1}(b_{ij}))]_{ij}^{N-1} \quad \text{équation (1)}$$

Cette fonction traduit le gain espéré d'un soumissionnaire j ayant une évaluation v_i et une soumission b_{ij} . En effet, lorsque le soumissionnaire j présente une soumission b_{ij} et gagne un secteur forestier i , son gain est calculé comme suit : $v_{ij} - b_{ij}$. Sa probabilité de gain est égale à $[F(B^{-1}(b_i))]_i^{N-1}$ donnée par l'équation 2.

$$p(b_{ij})^{N-1} = [F(B^{-1}(b_{ij}))]_{ij}^{N-1} = \frac{[N(b-P_{min})]^{n-1}}{[(N-1)(P_{max}-P_{min})^{n-1}]} ; \quad P_{min} \leq b \leq \frac{M-(M-m)}{N} \quad \text{équation (2)}$$

La fonction de probabilité de gain d'un joueur j ayant une soumission b_{ij} est la probabilité que tous les autres joueurs $N-1$ aient des évaluations v_{ij} tel que $B(v_{ij}) < b_{ij}$.

La soumission optimale b_{ij}^* dans le cas des enchères scellées au premier prix avec valeur privée est alors:

$$b^*(v_{ij}) = (1 - 1/N)v_{ij} + P_{\min}/N \quad \text{équation (3)}$$

3.3.1.2 Approche expérimentale de la stratégie de mise optimale dans les enchères scellées au premier prix (ventes des bois aux enchères)

Dans cette sous-section, nous menons une étude expérimentale afin de valider l'utilité du modèle de mise pour le cas des ventes des bois aux enchères. Pour ce faire, nous considérons 3 joueurs qui participent à une vente aux enchères comprenant 15 secteurs forestiers indépendants les uns des autres. Nous supposons que l'intervalle de prix de ces secteurs varie entre 250 000\$ (P_{\min}) et 750 000\$ (P_{\max}). Le premier joueur nommé « Joueur 1 » applique toujours la formule de soumission optimale pour calculer sa mise, peu importe son état d'esprit. Le « Joueur 2 » et le « Joueur 3 » ne connaissent pas cette formule et misent aléatoirement ou selon leur aversion au risque. Comme nous sommes dans le cas d'enchères scellées au premier prix avec valeur privée, nous rappelons ici que chaque joueur connaît sa propre évaluation du secteur forestier et l'intervalle des autres évaluations pour le même secteur forestier. A la lumière de cette information, chaque joueur présente une offre (soumission) lui permettant d'acquérir un maximum de gain pour chaque secteur forestier vendu aux enchères.

« **Les évaluations personnelles** » des joueurs sont déterminées en utilisant la fonction Excel « ALEA » qui génère aléatoirement suivant une distribution uniforme des nombres entre 0 et 1. En modifiant cette fonction par ALEA. ENTRE. BORNES (Min ; Max) avec $\text{Min} = P_{\min} = 250\ 000\$$ et $\text{Max} = P_{\max} = 750\ 000\$$, nous obtenons des nombres aléatoires entre ces deux valeurs. 15 valeurs sont ainsi aléatoirement générées et distribuées parmi les 3 joueurs.

« **Les soumissions** » des joueurs sont les offres de chaque joueur pour chaque secteur forestier. Comme expliqué auparavant, les soumissions du Joueur 1 sont calculées par l'équation 3 qui détermine la mise optimale dans le cas d'enchères scellées au premier prix avec valeur privée.

Par exemple, pour le premier secteur forestier, considérant trois participants à l'enchère, un $P_{min} = 250\ 000$ \$, un $P_{max} = 750\ 000$ \$, et une évaluation personnelle de 626 329 \$, la mise optimale du Joueur 1 est alors de : $250\ 000 / 3 + (1-1/3) * 626\ 329 = 500\ 886$ \$. Les soumissions des joueurs 2 et 3 sont plutôt générées aléatoirement entre la valeur minimale du secteur et la propre évaluation de chaque joueur pour ce même secteur. Les évaluations personnelles et les soumissions des trois joueurs pour les 15 secteurs considérés dans l'expérimentation sont présentées dans le Tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2: Évaluations personnelles et soumissions des joueurs

Secteur	Évaluations personnelles des joueurs (\$)			Soumissions des joueurs (\$)		
	Joueur 1 (v_1)	Joueur 2 (v_2)	Joueur 3 (v_3)	Joueur 1 ($b_1=b^*$)	Joueur 2 (b_2)	Joueur 3 (b_3)
1	626 329	486 412	742 144	500 886	285 509	704 343
2	412 762	618 287	712 576	358 508	354 745	711 834
3	580 691	341 553	440 756	470 461	302 327	309 914
4	273 817	318 937	273 817	265 878	309 836	270 717
5	440 756	377 939	580 691	377 171	296 525	295 963
6	712 576	342 414	412 762	558 384	290 038	304 854
7	742 144	437 937	626 329	578 096	321 055	564 482
8	645 830	645 830	486 412	513 887	426 246	475 572
9	437 937	742 144	618 287	375 291	314 361	370 666
10	342 414	712 576	341 553	311 609	574 572	266 263
11	377 939	440 756	318 937	335 293	340 104	281 675
12	318 937	273 817	377 939	295 958	264 494	359 281
13	341 553	580 691	342 414	311 035	309 001	279 952
14	618 287	412 762	437 937	495 525	271 975	433 960
15	486 412	626 329	645 830	407 608	312 316	503 907
Moyenne des évaluations	490 559	490 559	490 559			

Pour chaque secteur forestier vendu aux enchères, le nom du gagnant, c'est-à-dire le joueur ayant effectué la soumission la plus élevée, est présenté dans la colonne « le gagnant » du Tableau 3. De plus, la colonne « gain des joueurs » montre le gain du joueur gagnant pour chaque secteur, soit la différence entre l'évaluation v_{ij} effectuée et la soumission b_{ij} déposée

pour chaque secteur ($gain = v_{ij} - b_{ij}$). Les deux joueurs qui n'ont pas la soumission la plus élevée ont un gain égal à zéro. La colonne « Cumul des gains » montre la somme cumulative des gains pour chaque joueur après chaque tour aux enchères. La dernière ligne montre le gain total pour chaque joueur une fois la vente des 15 secteurs forestiers aux enchères complétée.

Tableau 3: Gains et cumul des gains des joueurs pour les 15 secteurs forestiers mis à l'enchère

Secteur	Le gagnant	Gain des joueurs (\$)			Cumul des gains (\$)		
		Joueur 1	Joueur 2	Joueur 3	Joueur 1	Joueur 2	Joueur 3
1	Joueur 3	0	0	37 801	0	0	37 801
2	Joueur 3	0	0	742	0	0	38 543
3	Joueur 1	110 230	0	0	110 230	0	38 543
4	Joueur 2	0	9101	0	110 230	9101	38 543
5	Joueur 1	63 585	0	0	173 816	9101	38 543
6	Joueur 1	154 192	0	0	328 008	9101	38 543
7	Joueur 1	164 048	0	0	492 056	9101	38 543
8	Joueur 1	131 943	0	0	623 999	9101	38 543
9	Joueur 1	62 646	0	0	686 645	9101	38 543
10	Joueur 2	0	138 004	0	686 645	147 105	38 543
11	Joueur 2	0	100 652	0	686 645	247 757	38 543
12	Joueur 3	0	0	18 658	686 645	247 757	57 201
13	Joueur 1	30 518	0	0	717 162	247 757	57 201
14	Joueur 1	122 762	0	0	839 925	247 757	57 201
15	Joueur 3	0	0	141 923	839 925	247 757	199 124

Dans le Tableau 4, nous présentons le « nombre cumulé de secteurs forestiers gagnés » et la « moyenne de gain par secteur » pour les trois joueurs.

Ainsi la moyenne de gain par secteur est calculée en appliquant la formule suivante :

$$\text{Moyenne de gains par secteur} = \frac{\text{Cumul des gains}}{\text{Nombre cumulé de secteurs gagnés}} \cdot$$

Prenons par exemple le joueur 3 qui a réussi à gagner 2 secteurs forestiers sur les 8 premiers secteurs mis en vente aux enchères et qui a un cumul de gain égal à 38 543 \$ (Tableau 3). Si nous appliquons la formule précédente, c'est-à-dire 38 543 \$ divisé par 2, nous trouvons que sa moyenne de gain par secteur est égale à 19 272 \$ (Tableau 4). Dans le cas où le nombre de secteur gagnés est égal à 0 pour un joueur particulier, la moyenne est égale à zéro.

Tableau 4: La moyenne des gains par joueur

Secteur	Nombre cumulé de secteurs gagnés			Moyenne de gains par secteur (\$)		
	Joueur 1 (v_1)	Joueur 2 (v_2)	Joueur 3 (v_3)	Joueur 1 (v_1)	Joueur 2 (v_2)	Joueur 3 (v_3)
1	0	0	1	0	0	37 801
2	0	0	2	0	0	19 272
3	1	0	2	110 230	0	19 272
4	1	1	2	110 230	9 101	19 272
5	2	1	2	86 908	9 101	19 272
6	3	1	2	109 336	9 101	19 272
7	4	1	2	123 014	9 101	19 272
8	5	1	2	124 800	9 101	19 272
9	6	1	2	114 441	9 101	19 272
10	6	2	2	114 441	73 553	19 272
11	6	3	3	114 441	82 586	12 848
12	6	3	4	114 441	82 586	14 300
13	7	3	4	102 452	82 586	14 300
14	8	3	4	104 991	82 586	14 300
15	8	3	4	104 991	82 586	49 781

Nous pouvons finalement calculer le « coefficient de risque » pour chaque joueur qui donne une idée sur le comportement face au risque de chaque joueur j . Pour ce faire, nous utilisons la définition de Menezes & Monterio (2005) qui proposent de calculer ce coefficient via la formule suivante :

$$\beta = (b_{ij} - m)/(v_{ij} - m) \quad \text{équation (4.)}$$

où:

b_{ij} = la soumission du joueur j pour le secteur i

v_{ij} = l'évaluation personnelle du joueur j pour le secteur i

m = le prix minimum pour les secteurs forestiers

Le coefficient de risque β est ainsi compris entre 0 et 1 puisque $m \leq b_{ij} \leq v_{ij}$. Plus ce coefficient se rapproche de 1, plus le joueur a une aversion au risque.

Le coefficient de risque β_1 du joueur 1 qui utilise la formule de mise optimale est constant et égal à 0,67. Pour obtenir cette valeur, il suffit de remplacer b_{ij} dans l'équation (4) par

l'expression présentée précédemment: $b^*(v_{ij}) = (1 - 1/N)v_{ij} + P_{min}/N$ où :

$$P_{min} = m \text{ et } N = 3$$

Ainsi : $\beta_1 = (m/3 + 2v/3 - m) / (v - m) = 2/3$.

Le Tableau 6 ci-dessous illustre les résultats de ce paramètre pour les 3 joueurs.

Tableau 5: Coefficient de risque

Secteur	Évaluations personnelles des joueurs (\$)			Soumissions des joueurs (\$)			Coefficient de risque		
	Joueur 1 (v ₁)	Joueur 2 (v ₂)	Joueur 3 (v ₃)	Joueur 1 (b=b*)	Joueur 2 (b ₂)	Joueur 3 (b ₃)	Joueur 1 (β ₁)	Joueur 2 (β ₂)	Joueur 3 (β ₃)
1	626 329	486 412	742 144	500 886	285 509	704 343	0,67	0,15	0,92
2	412 762	618 287	712 576	358 508	354 745	711 834	0,67	0,28	1,00
3	580 691	341 553	440 756	470 461	302 327	309 914	0,67	0,57	0,31
4	273 817	318 937	273 817	265 878	309 836	270 717	0,67	0,87	0,87
5	440 756	377 939	580 691	377 171	296 525	295 963	0,67	0,36	0,14
6	712 576	342 414	412 762	558 384	290 038	304 854	0,67	0,43	0,34
7	742 144	437 937	626 329	578 096	321 055	564 482	0,67	0,38	0,84
8	645 830	645 830	486 412	513 887	426 246	475 572	0,67	0,45	0,95
9	437 937	742 144	618 287	375 291	314 361	370 666	0,67	0,13	0,33
10	342 414	712 576	341 553	311 609	574 572	266 263	0,67	0,70	0,18
11	377 939	440 756	318 937	335 293	340 104	281 675	0,67	0,47	0,46
12	318 937	273 817	377 939	295 958	264 494	359 281	0,67	0,61	0,85
13	341 553	580 691	342 414	311 035	309 001	279 952	0,67	0,18	0,32
14	618 287	412 762	437 937	495 525	271 975	433 960	0,67	0,14	0,98
15	486 412	626 329	645 830	407 608	312 316	503 907	0,67	0,17	0,64
Moyenne de coefficient de risque pour chaque joueur							0,67	0,39	0,61

3.3.1.3 Interprétation des résultats de l'expérimentation

Dans cette partie, nous examinons et comparons les résultats de chaque joueur d'après le cumul de gains, la moyenne de gains et le coefficient de risque.

Tel que présenté dans le Tableau 3, « **Le Cumul des gains** » pour le Joueur 1 s'avère supérieur à celui des joueurs 2 et 3 (839 925 \$ > 247 757 \$ et 839 925 \$ > 199 124 \$). Ces deux joueurs ont en effet gagné ensemble 7 secteurs forestiers alors que le Joueur 1 a obtenu à lui seul 8 secteurs sur les 15 mis en vente aux enchères. La « **moyenne des gains par secteur** » pour le Joueur 1 est ainsi de beaucoup supérieure à celle du Joueur 2 ou encore à celle du Joueur 3 (104 991 \$ > 82 586 \$ et 104 991 \$ > 49 781 \$, Tableau 4).

En examinant « **le coefficient de risque moyen** » apparaissant au Tableau 5, nous pouvons remarquer que le coefficient de risque moyen du Joueur 1 est supérieur à celui du Joueur 2 et du Joueur 3 ($0.67 > 0.39$ et $0.67 > 0.61$). Le joueur 1 montre ainsi une plus grande aversion au risque que les joueurs 2 et 3 vu qu'il a le coefficient de risque moyen le plus élevé. Un second scénario testé par la suite et présenté en Annexe B a toutefois démontré que même si le coefficient de risque moyen du Joueur 1 est inférieur à ceux des autres joueurs, « **la moyenne de gain par secteur** » de celui-ci demeure plus élevée.

Pour mieux observer la relation entre les évaluations personnelles des joueurs et les soumissions qui leur sont associées, nous avons élaboré le graphique de la Figure 11. Dans ce graphique, les losanges bleus montrent les soumissions du Joueur 2 en fonction de ses évaluations personnelles pour les 15 secteurs forestiers. Les triangles rouges illustrent les soumissions imaginaires pour le Joueur 1 advenant le cas où il aurait les mêmes évaluations personnelles que le Joueur 2 pour les différents secteurs forestiers. Le but de cette illustration est de montrer l'écart entre une soumission aléatoire et une soumission selon l'approche de mise optimale. En effet, lorsqu'un joueur présente la soumission la plus élevée et gagne un secteur forestier, il y a un risque qu'il surévalue ce secteur et inversement. Avec la stratégie de mise optimale, ce risque est minimisé en plus de garantir un plus grand gain si la mise se retrouve gagnante.

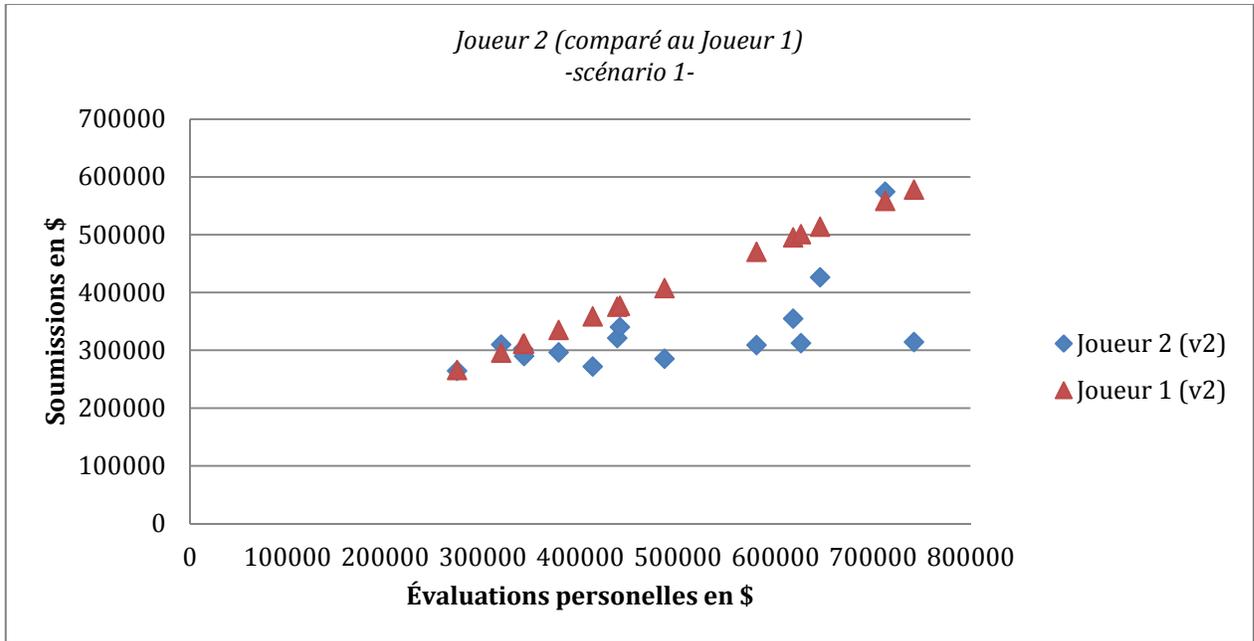


Figure 11: Soumissions de Joueur 1 en utilisant les évaluations personnelles v2 de Joueur 2

Dans ce graphique nous remarquons que la majorité de points bleus qui reflètent le comportement du Joueur 2 se retrouvent en-dessous des points rouges (reflétant le comportement du Joueur 1 selon la stratégie de mise optimale). Ceci montre que le Joueur 2 a sous-évalué la majorité des secteurs forestiers lors de ses soumissions. La Figure 12 présente similairement les soumissions du Joueur 3 par rapport au Joueur 1.

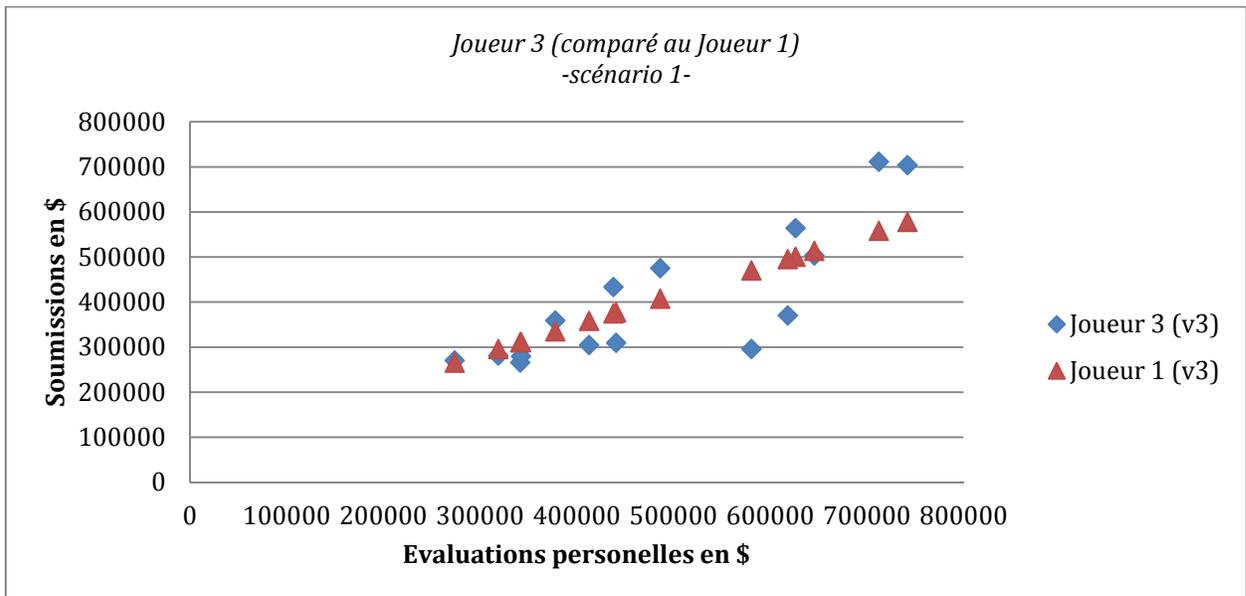


Figure 12: Soumissions de Joueur 1 en utilisant les évaluations personnelles v3 de Joueur 3

Dans ce graphique, nous remarquons que le Joueur 3 a un comportement différent par rapport à celui de Joueur 1. En effet, dans plus que 50 % des cas, ses soumissions sont situées au-dessus des points rouges et le reste du temps en-dessous des points rouges. Ceci reflète un comportement qui n'est pas stable ou qui ne suit aucune stratégie.

En conclusion, contrairement aux Joueurs 2 et 3, le Joueur 1 a un coefficient de risque moyen constant qui est gale à 0,67, ce qui signifie que les points présentant ses soumissions suivent une ligne droite d'équation $b = 0,67 * v$. Ceci se voit bel et bien dans les deux graphes présentés précédemment. De plus, les résultats obtenus confirment que le Joueur 1 obtient toujours une moyenne de gain supérieure aux Joueurs 2 et 3. Le modèle de mise optimale a donc fait ses preuves et il sera utilisé dans la suite du travail.

3.3.2 Modélisation des stratégies d'approvisionnement dans un contexte d'enchères

Nous présentons maintenant le modèle tactique de planification permettant de déterminer les opérations à effectuer et les secteurs pour lesquels miser afin de maximiser les profits d'une compagnie forestière. Rappelons que le modèle de base ne considère que le bois provenant de la garantit et des enchères. Un second scénario considère la stratégie d'acheter de la forêt privée pour mieux répondre aux besoins. Un troisième cas de figure considère la collaboration dans la planification de l'approvisionnement forestier.

3.3.2.1 Modèle de planification forestière sans stratégie

Les ensembles, paramètres et variables de décision utilisés dans la formulation du modèle de planification de l'approvisionnement de base sans stratégie sont les suivants :

Ensemble :

F	Sources garanties d'approvisionnement	$f \in F$
A	Sources d'approvisionnement des ventes aux enchères	$a \in A$
SM	Scieries	$sm \in SM$
PM	Papetières	$pm \in PM$
P	Produits	$p \in P$
Lm	Marché du bois d'œuvre	
Pm	Marché du papier	

Paramètres

$C_{p,f,t}^H$	Coût de récolte du produit p dans la source garantie f durant la période t	(\$/m ³)
$C_{p,a,t}^H$	Coût de récolte du produit p dans la source d'enchère a durant la période t	(\$/m ³)
$C_{f,p,t}^S$	Coût de stockage du produit p à la source garantie f	(\$/m ³)
$C_{p,f,t}^S$	Coût de stockage du produit p à la source d'enchère	(\$/m ³)
$C_{p,sm,t}^S$	Coût de stockage du produit p à la scierie sm durant la période t	(\$/m ³)
$C_{p,pm,t}^S$	Coût de stockage du produit p à la papetière pm durant la période t	(\$/m ³)
$C'_{p,sm,t}^S$	Coût de stockage du produit fini p à la scierie sm durant la période t	(\$/m ³)
$C'_{p,pm,t}^S$	Coût de stockage du produit fini p à la papetière pm durant la période t	(\$/m ³)
$C_{p,f,sm,t}^T$	Coût de transport du produit p de la source garantie jusqu'à la scierie sm durant la période t	(\$/m ³)
$C_{p,a,sm,t}^T$	Coût de transport du produit p de la source d'enchère jusqu'à la scierie sm durant la période t	(\$/m ³)
B_a	Coût d'achat de la source d'approvisionnement a des ventes aux enchères (la soumission)	(\$/m ³)
V_a	Volume de la source d'approvisionnement a	m ³
$V_{p,a,t}$	Volume de produit p à la source a durant la période t	m ³
$C_{p,sm,pm,t}^T$	Coût de transport du produit p de la scierie sm vers la papetière pm durant la période t	(\$/m ³)
$C'_{p,sm,Lm,t}^T$	Coût de transport du produit fini p de la scierie sm vers le marché de bois d'œuvre durant la période t	(\$/m ³)
$C'_{p,pm,Pm,t}^T$	Coût de transport de produit fini p de la papetière pm vers le marché du papier durant la période t	(\$/m ³)
$C_{p,sm,t}^P$	Coût de production du produit p à la scierie sm durant la période t	(\$/m ³)
$C_{p,pm,t}^P$	Coût de production du produit p à la papetière pm durant la période t	(\$/m ³)
$\alpha_{p,sm,t}$	Prix de vente du produit fini p manufacturé à la scierie sm durant la période t	(\$/m ³)
$\beta_{p,pm,t}$	Prix de vente du produit fini p manufacturé à la papetière pm durant la période t	(\$/T)
$H_{p,f,t}^{\max}$	Capacité maximale de récolte du produit p à la source garantie f durant la période t	(m ³)
$H_{p,f,t}^{\min}$	Capacité minimale de récolte du produit p à la source garantie f durant la période t	(m ³)

$H_{p,a,t}^{\max}$	Capacité maximale de récolte du produit p à la source d'enchère a durant la période t	(m^3)
$H_{p,a,t}^{\min}$	Capacité minimale de récolte du produit p à la source d'enchère a durant la période t	(m^3)
$S_{f,t}^{\max}$	Capacité de stockage maximale à la source garantie f durant la période t	(m^3)
$S_{a,t}^{\max}$	Capacité de stockage maximale à la source d'enchère a durant la période t	(m^3)
S_{sm}^{\max}	Capacité de stockage maximale du produit p à la scierie sm	(m^3)
S_{pm}^{\max}	Capacité de stockage maximale du produit p à la papetière pm	(T)
S'_{sm}^{\max}	Capacité de stockage maximale du produit fini p à la scierie sm	(m^3)
S'_{pm}^{\max}	Capacité de stockage maximale du produit fini p à la papetière pm	(T)
T_f^{\max}	Capacité de transport maximale de la source garantie f	(m^3)
$T_{f,t}^{\min}$	Capacité de transport minimale de la source garantie f	(m^3)
T_a^{\max}	Capacité de transport maximale de la source d'enchère a	(m^3)
T_a^{\min}	Capacité de transport minimale de la source d'enchère a	(m^3)
T_{sm}^{\max}	Capacité de transport maximale de la scierie sm	(m^3)
T_{pm}^{\max}	Capacité de transport maximale de la papetière pm	(T)
P_{sm}^{\max}	Capacité de production maximale à la scierie sm	(m^3)
P_{pm}^{\max}	Capacité de production maximale à la papetière pm	(T)
$D_{p,sm}$	Demande du produit fini p pour la scierie sm durant la période t	(m^3)
$D_{p,pm}$	Demande du produit fini p pour la papetière pm durant la période t	(T)
$\gamma_{p,sm}$	Facteur de conversion de produit p à la scierie sm	
$\delta_{p,pm}$	Facteur de conversion de produit p à la papetière pm	
Δ_a	Pertes associées aux essences non désirées par secteur a	$\$$

Variables de décision :

Les variables de décision et les relations entre elles sont illustrés à la Figure 13.

$X_{p,f,t}^H$	Volume à récolter de produit p dans la source f durant la période t	(m^3)
$X_{p,f,sm,t}^T$	Volume de produit p à transporter de la source f vers à la scierie sm durant la période t	(m^3)
$X_{p,a,t}^H$	Volume à récolter de produit p dans la source d'enchère a durant la période t	(m^3)
$X_{p,a,sm,t}^T$	Volume de produit p à transporter de la source a à la scierie sm durant la période t	(m^3)

$X_{sm,pm,t}^T$	Volume de produit p à transporter de la scierie sm jusqu'à la papetière pm durant la période t	(m^3)
$P_{p,sm,t}$	Volume de produit p consommé à la scierie sm durant la période t	(m^3)
$P_{p,pm,t}$	Volume de produit p consommé à la papetière pm durant la période t	(m^3)
$FP_{p,sm}$	Volume de produit fini p fabriqué à la scierie sm durant la période t	(m^3)
$FP_{p,pm}$	Volume de produit fini p fabriqué à la papetière pm durant la période t	(T)
$I_{p,f,t}$	Inventaire de produit p dans la source garantie f à la fin de la période t	(m^3)
$I_{p,a,t}$	Inventaire de produit p dans la source garantie a à la fin de la période t	(m^3)
$I_{p,sm,t}$	Inventaire de produit p à la scierie sm à la fin de la période t	(m^3)
$I'_{p,sm,t}$	Inventaire de produit fini p à la scierie sm à la fin de la période t	(m^3)
$I_{p,pm,t}$	Inventaire de produit p à la papetière pm à la fin de la période t	(m^3)
$I'_{p,pm,t}$	Inventaire de produit fini p à la papetière pm à la fin de la période t	(m^3)
$Y_{p,sm,t}^{LM}$	Volume de produit fini p transporté de la scierie sm au marché de bois d'œuvre Lm durant la période t (quantité à vendre)	(m^3)
$Y_{p,pm,t}^{PM}$	Volume de produit fini p transporté de la papetière pm au marché de papier Pm durant la période t (quantité à vendre)	(T)

Nous avons aussi une variable de décision binaire pour sélectionner la combinaison optimale de sources d'approvisionnement à acheter des ventes aux enchères.

$$\omega_A = \begin{cases} 1 & \text{si la source est sélectionnée} \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$

La Figure 13 illustre le problème de planification des approvisionnements en bois dans un contexte d'enchères et sans stratégie alternative.

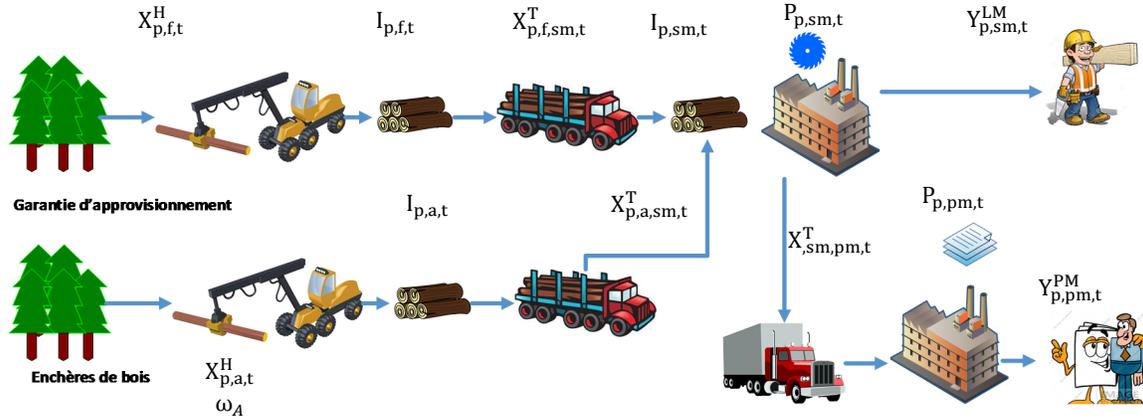


Figure 13: Illustration de problème de planification des approvisionnements en bois (scénario 1)

Le modèle de planification de l'approvisionnement forestier intégrant les mises aux enchères et le bois garanti se présente alors de la façon suivante :

Fonction objectif :

$$\begin{aligned}
 \text{Max} \quad & \sum_{p,sm,t} \alpha_{p,sm,t} Y_{p,sm,t}^{LM} + \sum_{p,pm,t} \beta_{p,pm,t} Y_{p,pm,t}^{PM} - \sum_{p,f,t} C_{p,f,t}^H X_{p,f,t}^H - \sum_{p,f,sm,t} C_{p,f,sm,t}^T X_{p,f,sm,t}^T \\
 & - \sum_{p,sm,pm} C_{p,sm,pm}^T X_{p,sm,pm}^T - \sum_{p,sm} C_{p,sm}^T Y_{p,sm}^{LM} - \sum_{p,pm} C_{p,pm}^T Y_{p,pm}^{PM} \\
 & - \sum_{p,f,t} C_{p,f,t}^S X_{p,f,t}^S - \sum_{p,sm} C_{p,sm}^S I_{p,sm} - \sum_{p,sm} C'_{p,sm} I'_{p,sm} - \sum_{p,pm} C_{p,pm}^S I_{p,pm} \\
 & - \sum_{p,pm} C'_{p,pm} I'_{p,pm} - \sum_{p,sm} C_{p,sm}^P P_{p,sm} - \sum_{p,pm} C_{p,pm}^P P_{p,pm} - \sum_a \omega B_a \\
 & - \sum_{p,a,t} C_{p,a,t}^H X_{p,a,t}^H - \sum_{p,a,t} C_{p,a,t}^T X_{p,a,t}^T - \sum_a \Delta_a
 \end{aligned} \tag{1}$$

La fonction objectif (1) a pour but de maximiser le profit d'une compagnie forestière tout en sélectionnant la combinaison optimale de différentes sources d'approvisionnement offertes dans la vente aux enchères pour lesquelles la compagnie souhaite miser. Les deux premières expressions de la fonction calculent les revenus des ventes de bois d'œuvre et de papiers. Ensuite, tous les coûts sont déduits. Nous considérons le coût de récolte de la matière première issue de la garantie d'approvisionnement, les coûts de transport entre les

différents nœuds (zone garantie d’approvisionnement, scierie, papetière), et les coûts de stockage (dans la zone de garantie d’approvisionnement, aux scieries et aux papetières). Les coûts de production ou de transformation sont aussi soustraits. Pour la décision concernant le choix des sources d’approvisionnement aux enchères, nous considérons le coût d’achat de la source (la soumission), le coût de récolte et le coût de transport. Finalement, nous soustrayons la perte associée aux essences non désirées par secteur gagné aux enchères.

Contraintes du modèle :

- **Conservation des flux** (2)

Inventaire dans les sources garanties

$$I_{p,f,t} = I_{p,f,0} + X_{p,f,t}^H - \sum_{p,sm} X_{p,f,sm,t}^T \quad \forall p \in P, \forall f \in F, \forall t \in T \quad (2.a)$$

Inventaire dans les sources des enchères

$$I_{p,a,t} = I_{p,a,0} + X_{p,a,t}^H - \sum_{p,sm} X_{p,a,sm,t}^T \quad \forall p \in P, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (2.b)$$

Inventaire aux scieries

$$I_{p,sm,t} = I_{p,sm,0} + \sum_f X_{p,f,sm,t}^T + \sum_a X_{p,a,sm,t}^T - P_{p,sm,t} \quad \forall p \in P, \forall sm \in SM, \forall t \in T \quad (2.c)$$

$$I'_{p,sm,t} = I'_{p,sm,0} + FP_{p,sm} - \sum_{pm} X_{p,sm,pm,t}^T - Y_{p,sm,t}^{LM} \quad \forall p \in P, \forall sm \in SM, \forall t \in T \quad (2.d)$$

Inventaire aux papetières

$$I_{p,pm,t} = I_{p,pm,0} + \sum_{sm} X_{p,sm,pm,t}^T - P_{p,pm,t} \quad \forall p \in P, \forall pm \in PM, \forall t \in T \quad (2.e)$$

$$I'_{p,pm,t} = I'_{p,pm,0} + FP_{p,pm} - Y_{p,pm,t}^{PM} \quad \forall p \in P, \forall pm \in PM, \forall t \in T \quad (2.f)$$

- **Satisfaction de la demande** (3)

$$Y_{p,sm,t}^{LM} \leq D_{p,sm,t} \quad \forall p \in P, \forall sm \in SM, \forall t \in T \quad (3.a)$$

$$Y_{p,pm,t}^{LM} \leq D_{p,pm,t} \quad \forall p \in P, \forall pm \in PM, \forall t \in T \quad (3.b)$$

- **Facteur de conversion** (4)

$$FP_{p,sm,t} = \gamma_{p,sm} * P_{p,sm,t} \quad \forall p \in P, \forall sm \in SM, \forall t \in T \quad (4.a)$$

$$FP_{p,sm,t} = \delta_{p,pm} * P_{p,pm,t} \quad \forall p \in P, \forall pm \in PM, \forall t \in T \quad (4.b)$$

- **Contraintes de récolte (garantie d’approvisionnement)** (5)

$$H_{p,f,t}^{min} \leq X_{p,f,t}^H \leq H_{p,f,t}^{max} \quad \forall f \in F \quad (5.a)$$

▪ **Contraintes liées aux enchères** (6)

$$X_{p,a,t}^H = \omega * V_{p,a,t} \quad \forall a \in A \quad (6.a)$$

$$X_{p,a,sm,t}^T = X_{p,a,t}^H \quad \forall a \in A \quad (6.b)$$

▪ **Contraintes de transport** (7)

Limites de transport des sources garanties

$$T_f^{min} \leq \sum_{sm \in SM} X_{f,sm,t}^T \leq T_f^{max} \quad \forall f \in F, \forall t \in T \quad (7.a)$$

Limites de transport des sources des enchères

$$T_a^{min} \leq \sum_{sm \in SM} X_{a,sm,t}^T \leq T_a^{max} \quad \forall a \in A, \forall t \in T$$

Limites de transport pour les scieries

$$\sum_{pm \in PM} X_{p,sm,pm}^T + Y_{p,sm}^{LM} \leq T_{sm}^{max} \quad \forall sm \in SM \quad (7.b)$$

Limites de transport pour les papetières

$$\sum_{pm \in PM} Y_{p,pm}^{PM} \leq T_{pm}^{max} \quad \forall pm \in PM \quad (7.c)$$

▪ **Contraintes de stockage** (8)

Capacité de stockage des sources garanties

$$\sum_p I_{p,f,t} \leq S_{f,t}^{max} \quad \forall f \in F, \forall t \in T \quad (8.a)$$

Capacité de stockage des sources des enchères

$$I_{p,a,t} \leq S_{a,t}^{max} \quad \forall a \in A, \forall t \in T$$

Capacité de stockage des scieries

$$\sum_p I_{p,sm,t} \leq S_{sm,t}^{max} \quad \forall sm \in SM, \forall t \in T \quad (8.b)$$

$$\sum_p I'_{p,sm,t} \leq S'_{sm,t}^{max} \quad \forall sm \in SM, \forall t \in T \quad (8.c)$$

Capacité de stockage des papetières

$$\sum_p I_{p,pm,t} \leq S_{pm,t}^{max} \quad (8.d)$$

$$\sum_p I'_{p,pm,t} \leq S'_{pm,t}^{max} \quad \forall pm \in PM, \forall t \in T \quad (8.e)$$

▪ **Contraintes de production** (9)

$$\sum_p P_{p,sm,t} \leq P_{sm}^{max} \quad \forall p \in P, \forall sm \in SM, \forall t \in T \quad (9.a)$$

$$\sum_p P_{p,pm,t} \leq P_{pm}^{max} \quad \forall p \in P, \forall pm \in PM, \forall t \in T \quad (9.b)$$

▪ **Contraintes de non-négativité** (10)

$$\begin{aligned}
X_{p,f,t}^H, X_{p,f,sm,t}^T, X_{p,a,t}^H, X_{p,a,sm,t}^T, X_{p,sm,pm,t}^T &\geq 0 && \forall p \in P, \forall sm \in SM, \forall p \\
P_{p,sm,t}, P_{p,pm,t}, FP_{p,sm}, FP_{p,pm} &\geq 0 && \in PM, \forall f \in F, \forall a \\
I_{p,f,t}, I_{p,sm,t}, I'_{p,sm,t}, I_{p,pm,t}, I'_{p,pm,t} &\geq 0 && \in A, \forall t \in T \\
Y_{p,sm,t}^{LM}, Y_{p,pm,t}^{PM} &\geq 0
\end{aligned}$$

Les équations 2a, 2b, 2c, 2d, 2e et 2f représentent les contraintes classiques de conservation de flux pour les différents nœuds (zone de garantie d’approvisionnement, secteurs des ventes aux enchères, scieries et papetières). Les équations 3a et 3b assurent la satisfaction de la demande pour les scieries et les papetières. Les équations 4a et 4b montrent les contraintes de production et les recettes utilisées dans chaque usine pour la fabrication des produits finis. L’équation 5a assure que le volume récolté d’un produit particulier dans une zone d’approvisionnement ne dépasse pas la capacité disponible. Les équations 6a et 6b expriment qu’une fois un secteur sélectionné dans les ventes aux enchères, la quantité récoltée et transportée devra être égale à la quantité disponible (cette contrainte exprime la réalité du système d’enchères insaturé au Québec qui exige de faire la récolte en 2 ans). Les équations 7a, 7b et 7c représentent les contraintes de transport (nous précisons que la contrainte 7a combine à la fois le transport du bois d’œuvre et des copeaux). Les capacités de stockage sont illustrées dans les équations 8a, 8b, 8c, 8d et 8e, alors que les capacités de production pour chaque usine sont présentées dans les équations 9a et 9b. Finalement nous illustrons dans l’équation 10 les contraintes de non négativité des variables de décision.

3.3.2.2 Modèle de planification forestière avec stratégie d’achat sur terres privées

Nous présentons dans cette sous-section les paramètres et les variables de décision que nous ajoutés au modèle de base et qui sont relatifs à la stratégie d’achat sur les terres privées. Des ententes annuelles pourront ainsi se faire entre la compagnie forestière et les propriétaires des forêts sur des quantités et des prix pour les essences désirées.

Ensembles

E Source d’approvisionnement en forêts privées e ∈ E

Paramètres

$C_{p,e,t}^A$	Coût d'approvisionnement du produit p à la source e durant la période t	(\$/m ³)
$V_{p,e,t}$	Volume de produit p disponible à la source e durant la période t	(\$/m ³)

Variables de décision

$X_{p,e,sm,t}^T$	Volume de produit p transporté de la source e vers la scierie sm durant la période t	(\$/m ³)
------------------	--	----------------------

Une nouvelle variable de décision binaire est alors nécessaire pour sélectionner les sources d'approvisionnement les plus intéressantes sur les terres privées.

$$\omega_E = \begin{cases} 1 & \text{si l'entente est conclue} \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$

La Figure 14 illustre le problème de planification des approvisionnements en bois dans un contexte d'enchères et avec stratégie d'achat sur terres privées.

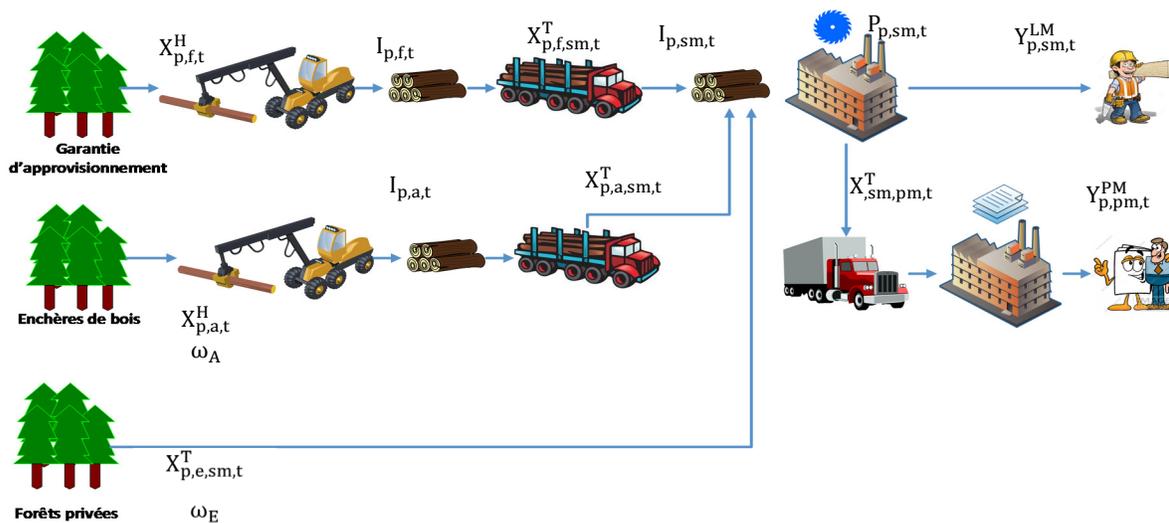


Figure 14: Illustration de problème de planification des approvisionnements en bois avec stratégie d'achat sur terres privées (scénario 2)

Le modèle de planification tactique d'approvisionnement forestier d'une compagnie intégrant les mises aux enchères avec stratégie d'achat sur terres privées se présente de la façon suivante :

Fonction objectif :

$$\begin{aligned}
\text{Max} \quad & \sum_{p,sm,t} \alpha_{p,sm,t} Y_{p,sm,t}^{LM} + \sum_{p,pm,t} \beta_{p,pm,t} Y_{ppm}^{PM} - \sum_{p,f,t} C_{p,f,t}^H X_{p,f,t}^H - \sum_{p,f,sm,t} C_{p,f,sm,t}^T X_{p,f,sm,t}^T \\
& - \sum_{p,sm,pm} C_{psmpm}^T X_{psmpm}^T - \sum_{p,sm} C_{psm}^T Y_{sm}^{LM} - \sum_{p,pm} C_{ppm}^T Y_{sm}^{PM} - \sum_{p,f,t} C_{p,f,t}^S X_{p,f,t}^S \\
& - \sum_{psm} C_{psm}^S I_{psm} - \sum_{psm} C'_{psm} I'_{psm} - \sum_{ppm} C_{ppm}^S I_{ppm} - \sum_{ppm} C'_{ppm} I'_{ppm} \\
& - \sum_{p,sm} C_{p,sm}^P P_{sm} - \sum_{p,pm} C_{p,pm}^P P_{pm} - \sum_a \omega_a B_a - \sum_{p,a,t} C_{p,a,t}^H X_{p,a,t}^H - \sum_{p,a,t} C_{p,a,t}^T X_{p,a,t}^T \\
& - \sum_a \Delta_a - \sum_e \omega_e C_{p,e,t}^A V_{p,e,t}^S
\end{aligned} \tag{11}$$

ST :

- **Contrainte liée à la quantité transportée de la forêt privée vers les scieries**

$$\sum_{sm} X_{p,e,sm,t}^T = \omega_e V_{p,e,t}^S; \quad \forall e \in E \tag{12}$$

- **Inventaire aux scieries**

$$I_{p,sm,t} = I_{p,sm,0} + \sum_f X_{p,f,sm,t}^T + \sum_a X_{p,a,sm}^T + \sum_e X_{p,e,sm,t}^T - P_{p,sm,t}; \tag{13}$$

$\forall p \in P, \quad \forall sm \in SM, \forall t \in T$

La fonction objectif (11) a toujours pour but de maximiser le profit d'une compagnie forestière tout en sélectionnant le scénario optimal d'approvisionnement parmi les ventes aux enchères et les forêts privés. Les deux premières expressions de la fonction calculent les revenus des ventes de bois d'œuvre et de papiers. Ensuite, tous les coûts sont déduits. Pour la décision sur les sources d'approvisionnement de l'enchère, nous considérons le coût d'achat de la source (la soumission), le coût de récolte et le coût de transport, alors que pour l'approvisionnement via la forêt privée, nous considérons le volume de l'essence et le prix de vente livré à l'usine.

La première contrainte ajoutée exprime la quantité de produit p qui sera transportée de la source e à la scierie sm une fois l'entente conclue. La deuxième contrainte met à jour l'inventaire de produit p aux scieries en tenant compte de cette nouvelle source d'approvisionnement.

3.3.2.3 Modèle de planification forestière avec stratégie de collaboration dans les enchères

Nous présentons finalement les éléments ajoutés au modèle de base pour le cas où la compagnie forestière intègre le besoin d'un partenaire dans sa planification. La fonction objectif aura alors toujours pour but de maximiser le profit de la compagnie, tout en tenant compte de la demande du partenaire traduite par des contrats ou des accords.

Ensembles

O Partenaires dans la collaboration $o \in O$

Paramètres

$D_{p,o,t}$ Demande du produit p par le partenaire o durant la période t (m^3)

$P_{p,o,t}$ Prix de vente du produit p pour le partenaire o durant la période t (m^3)

Variables de décision

$X_{p,a,o,t}$ Volume de produit p transporté de secteur a vers un partenaire o durant la période t (m^3)

La Figure 15 illustre le problème de planification des approvisionnements en bois dans un contexte d'enchères et avec stratégie de collaboration.

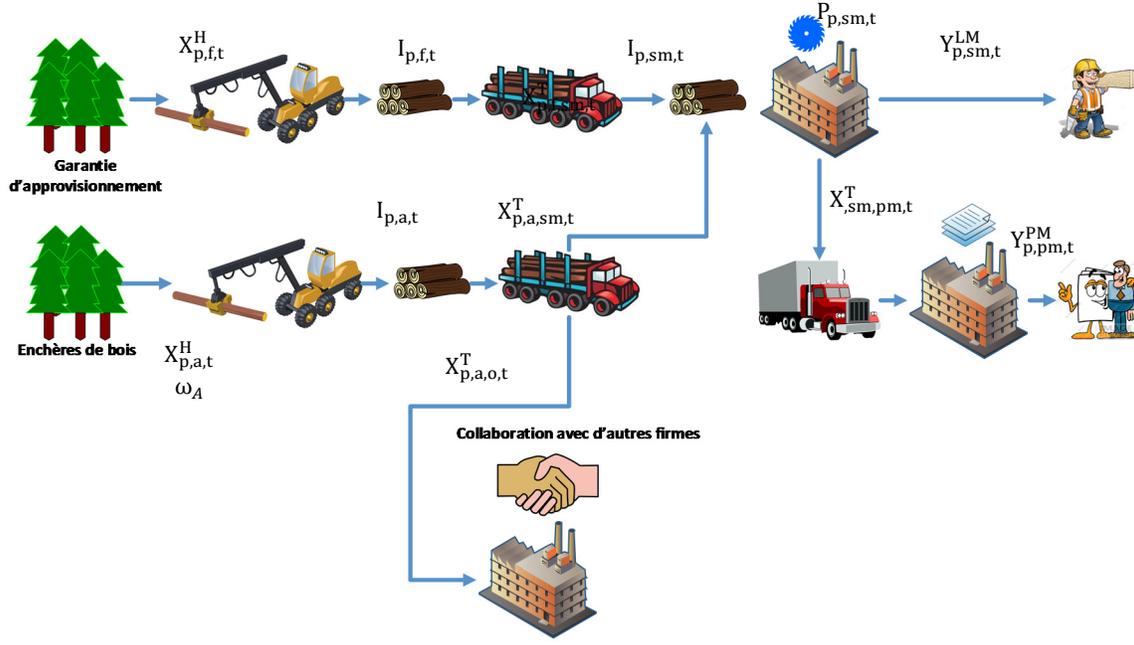


Figure 15: Illustration de problème de planification des approvisionnements en bois avec stratégie de collaboration (scénario 3)

Le modèle de planification tactique d'approvisionnement forestier d'une compagnie intégrant les mises aux enchères avec stratégie de collaboration se présente alors de la façon suivante :

Fonction objectif :

$$\begin{aligned}
 Max \quad & \sum_{p,sm,t} \alpha_{p,sm,t} Y_{p,sm,t}^{LM} + \sum_{p,pm,t} \beta_{p,pm,t} Y_{p,pm,t}^{PM} + \sum_{p,o,t} p_{p,o,t} X_{p,a,o,t} - \sum_{p,f,t} C_{p,f,t}^H X_{p,f,t}^H \\
 & - \sum_{p,f,sm,t} C_{p,f,sm,t}^T X_{p,f,sm,t}^T - \sum_{p,sm,pm} C_{p,sm,pm}^T X_{p,sm,pm}^T - \sum_{p,sm} C_{p,sm}^T Y_{p,sm}^{LM} \\
 & - \sum_{p,pm} C_{p,pm}^T Y_{p,pm}^{PM} - \sum_{p,f,t} C_{p,f,t}^S X_{p,f,t}^S \\
 & - \sum_{p,sm} C_{p,sm}^S I_{p,sm} - \sum_{p,sm} C_{p,sm}^S I'_{p,sm} - \sum_{p,pm} C_{p,pm}^S I_{p,pm} - \sum_{p,pm} C_{p,pm}^S I'_{p,pm} \\
 & - \sum_{p,sm} C_{p,sm}^P P_{p,sm} - \sum_{p,pm} C_{p,pm}^P P_{p,pm} - \sum_a \omega_a B_a - \sum_{p,a,t} C_{p,a,t}^H X_{p,a,t}^H - \sum_{p,a,t} C_{p,a,t}^T X_{p,a,t}^T \\
 & - \sum_a \Delta_a
 \end{aligned} \tag{14}$$

ST :

- **Contrainte de l'inventaire aux scieries**

$$I_{p,a,t} = I_{p,a,0} + X_{p,a,t}^H - \sum_{p,sm} X_{p,a,sm,t}^T - X_{p,a,o,t} \quad \forall p \in P, \forall sm \in SM, \forall t \in T$$

- **Contrainte de satisfaction de la demande du partenaire**

$$\sum_a X_{p,a,o,t} = D_{p,o,t} \quad \forall p \in P, \forall o \in O, \forall t \in T$$

Les deux premières expressions de la fonction objectif (14) calculent les revenus des ventes de bois d'œuvre et de papiers, alors que la troisième expression exprime le revenu obtenu de la collaboration avec son partenaire. Ce revenu est calculé sous la forme d'une entente pour des volumes de bois que le partenaire souhaite avoir à un certain prix. Ensuite, tous les coûts sont déduits.

La première contrainte ajoutée met à jour l'inventaire dans les secteurs forestiers obtenus via les enchères en déduisant la quantité de produit p qui sera transportée au partenaire o , alors que la deuxième contrainte exprime la satisfaction de la demande d'un produit p pour un partenaire o . Nous tenons à préciser que la stratégie d'approvisionnement reposant sur la collaboration a certains avantages. En effet, ce scénario a l'avantage de diminuer la perte des essences non désirées dans les secteurs forestiers pour lesquels la compagnie souhaite miser lorsque le partenaire trouvé recherche justement ce type de fibre. La compagnie voit de plus ses chances de gagner les secteurs augmenter étant donné un nombre d'enchérisseurs plus restreint et une mise pouvant être plus élevée.

Maintenant, que nous avons terminé la présentation de la modélisation du modèle de planification forestière de base dans un contexte d'enchères ainsi que de deux autres modèles avec stratégies d'approvisionnement, nous allons illustrer l'étude expérimentale et les résultats obtenus de tels modèles.

Chapitre 4 : Expérimentation et résultats

Dans le présent chapitre, nous présentons les résultats obtenus lors de la résolution de notre modèle de planification des opérations forestières, selon qu'une stratégie d'acquisition du bois sur forêt privée ou de collaboration soit utilisée ou non. Nous rappelons que deux stratégies d'approvisionnement ont été identifiées, à savoir la stratégie d'achat sur terres privées et la stratégie de collaboration entre les industriels. Ces deux stratégies sont donc comparées au modèle de planification de base. Le modèle de mise optimale décrit précédemment est de plus employé pour calculer la soumission dans le cadre des enchères de bois. Cette valeur sera ainsi une entrée du modèle de planification. Les données utilisées et hypothèses posées pour le cas étudié sont également explicitées.

4.1 Données du cas à l'étude

Les données utilisées à l'intérieur du modèle sont inspirées d'une compagnie forestière ayant des unités d'affaires réparties en Amérique du Nord. Cette entreprise dessert différents secteurs notamment les papiers domestiques et institutionnels, l'énergie, les papiers pour publications, le bois d'œuvre, les cartons et les emballages. Au Canada, cette société est présente au Québec, en Ontario, en Colombie-Britannique et à Terre-Neuve (Figure 16). Dans le cadre de nos travaux, nous nous intéressons seulement au secteur du bois d'œuvre et du papier pour publications produits dans ses usines localisées au Québec.

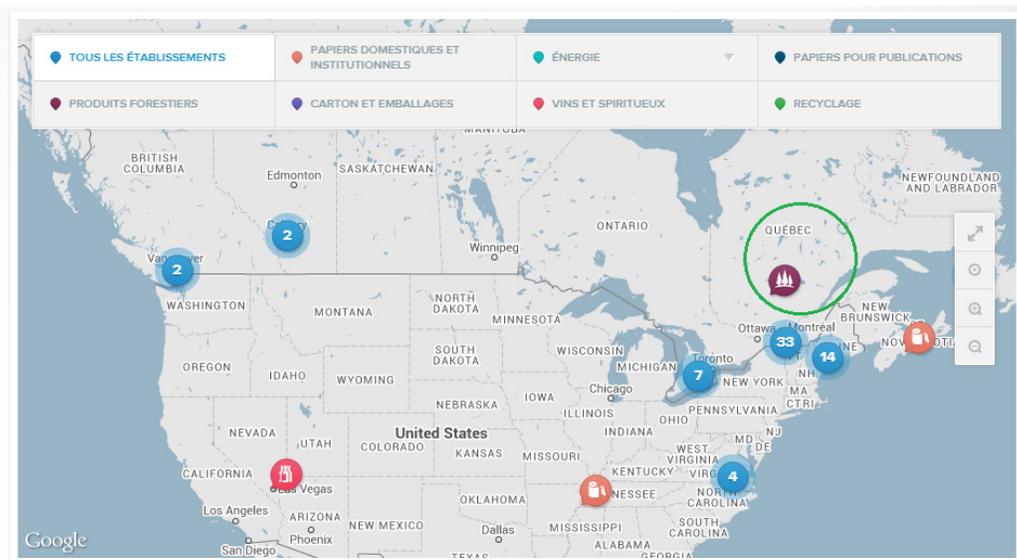


Figure 16: Secteurs et répartition des établissements du cas d'étude

4.1.1 Le réseau forestier du cas à l'étude et les unités d'affaires

Le réseau forestier considéré dans notre modélisation est donc composé de deux scieries, de trois papeteries et de deux grands marchés, soit celui du bois d'œuvre et celui du papier pour publications. De plus, trois types de sources d'approvisionnement sont considérés. Une relation étroite existe entre ces différentes composantes du réseau. La Figure ci-dessous schématise le réseau ainsi que les relations existantes entre ces composantes.

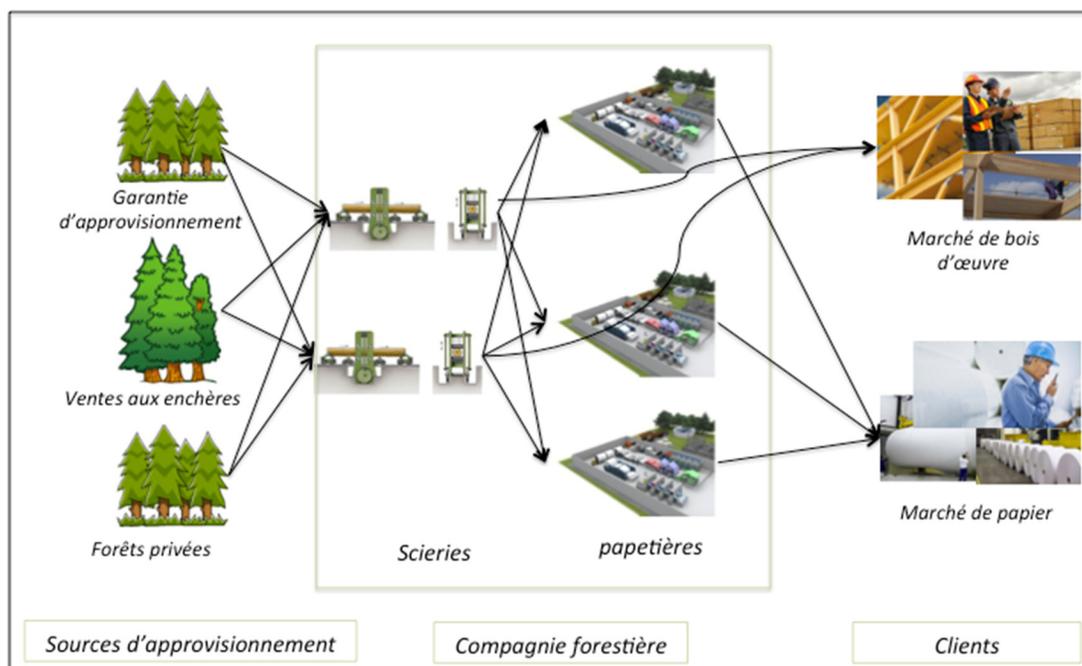


Figure 17: Schématisation du réseau forestier du cas l'étude

4.1.1.1 Les sources d'approvisionnement

- **Garantie d'approvisionnement :** La Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier prévoit que la garantie d'approvisionnement confère à son bénéficiaire le droit d'acheter annuellement un volume de bois en provenance de territoires forestiers du domaine de l'État d'une ou de plusieurs régions, et ce, en vue d'approvisionner l'usine de transformation du bois pour laquelle cette garantie est accordée. La garantie indique les volumes annuels de bois, par essence ou groupe d'essences, qui peuvent être achetés annuellement par le bénéficiaire, en provenance de chacune des régions visées par la garantie. C'est un document qui remplace le contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier (depuis le 1^{er} avril 2013).

Ce document est établi entre le gouvernement du Québec d'une part et le « Bénéficiaire » d'autre part.

- **Ventes aux enchères des bois :** Institué par la Loi sur l'aménagement durable, des forêts, le BMMB est responsable de la mise en marché de 25% du bois issus des forêts publiques tout en s'assurant que les ventes satisfont aux conditions d'un marché libre. Ces ventes sont accessibles aux enchérisseurs sans frontières régionales. Propriétaires d'usines de transformation, entrepreneurs, coopératives, groupements forestiers et négociants de billes seront admissibles.
- **Forêts privées :** Les forêts privées appartiennent à près de 130 000 propriétaires et couvrent 70 000 km², dont 66 246 km² de territoires forestiers productifs. Elles appartiennent aux domaines de végétation des érablières et de la sapinière à bouleau jaune (forêts de feuillus et forêts mixtes). Les forêts de feuillus, principalement des érablières, sont concentrées dans les régions des Laurentides, de Lanaudière, de l'Estrie, de l'Outaouais, de Chaudière-Appalaches, de la Mauricie, du Centre-du-Québec et de la Montérégie. Ces érablières renferment une grande diversité d'espèces feuillues, qui varient selon les régions. L'Estrie, Chaudière-Appalaches, la Mauricie et le Centre-du-Québec ont une proportion plus grande de résineux. La presque totalité des propriétés forestières privées (88 %) ne fait guère plus de 50 hectares. Ces petits boisés sont surtout situés en Chaudière-Appalaches, en Mauricie, au Centre-du-Québec, en Montérégie, au Bas-Saint-Laurent et en Estrie. Par ailleurs, certaines entreprises possèdent de grandes superficies de forêts d'un seul tenant. On qualifie de grandes forêts celles qui font 800 hectares ou plus. Ces grandes propriétés privées font surtout partie des paysages de la région de Québec, de la Mauricie, du Centre-du-Québec et de l'Estrie. Une bonne part de matière ligneuse provient des forêts privées du Québec. En effet, celles-ci contribuent pour 20 % de l'approvisionnement en bois rond des usines de transformation du bois. Ce sont les syndicats de producteurs de bois qui assurent les services de mise en marché. Ainsi, ces organismes ont le mandat de négocier la répartition des quantités entre les producteurs, les modalités de transport et de livraison, et les conditions de vente.

Dans le cadre de notre étude, nous nous basons sur la région de la Mauricie comme source d’approvisionnement pour la compagnie forestière, objet de notre recherche. En effet, des ententes annuelles sur le volume et le prix peuvent être établies entre les propriétaires de forêts privées qui se situent dans cette zone et la compagnie forestière en question lors de besoins en approvisionnement.

Le volume annuel dont bénéficie la compagnie selon la garantie d’approvisionnement dans la région a été obtenu via le site du MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs www.mffp.gouv.qc.ca, Tableaux 6)

Tableau 6: Volume de bois visé par la garantie d'approvisionnement pour la scierie 1 et la scierie 2

Usines	Région d'application des GA	Essence ou groupe d'essences	Volume en (m ³)
Scierie 1	Mauricie	Sapin, épinettes, pin gris et mélèzes	382 950
Scierie 2	Mauricie	Sapin, épinettes, pin gris et mélèzes	417 850

Nous considérons que ce volume contient 60% d’épinettes, 30% de sapin et 10% de pin gris/mélèzes. Pour les sources d’approvisionnements des ventes aux enchères relatives à cette même compagnie, nous avons considéré l’historique des ventes entre 2012-2014 sur le site du BMMB tel que présenté dans le tableau ci-dessous. Pour des raisons de confidentialité, nous nommons les secteurs forestiers obtenus par d’autres nominations que celles affichée sur le site de BMMB. Volumes de bois attribués par les enchères

Tableau 7: Volume de bois attribués par les enchères

Secteurs forestiers dans la vente aux enchères	Volume total (m ³)	Date de fin d'enchère
Secteur A1	65 150	2012-12-05
Secteur A2	21 250	2012-12-05
Secteur A3	18 250	2012-12-05
Secteur A4	13 200	2012-12-05
	$\Sigma=$ 117 850	2012
Secteur B2	31 650	2013-12-04

Tableau 7: Volumes de bois attribués par les enchères		
Secteurs forestiers dans la vente aux enchères	Volume total (m³)	Date de fin d'enchère
Secteur B3	24 950	2013-12-04
Secteur B4	37 250	2013-12-04
Secteur B5	61 800	2013-12-04
Secteur B6	49 100	2013-12-04
Secteur D7	81 650	2013-12-04
Secteur D8	20 800	2013-12-04
Secteur D9	31 900	2013-12-04
	$\Sigma = 339\ 100$	2013
Secteur C1	5 250	2014-01-15
Secteur C2	31 600	2014-05-28
Secteur C3	5 500	2014-05-28
Secteur C4	19 500	2014-09-10
	$\Sigma = 61\ 850$	2014

Si nous regroupons ces volumes par année, nous trouvons que cette compagnie a obtenu des enchères 15% du volume de sa garantie en 2012 (l'équivalent de 4 secteurs forestiers), 42% du volume de sa garantie en 2013 (équivalent à 9 secteurs forestiers) et 10% du volume de sa garantie en 2014 (équivalent à 4 secteurs forestiers). Ces volumes sont achetés des deux scieries du cas d'étude.

Dans notre étude, nous avons choisi de considérer 2013 comme l'année de référence dans nos expérimentations, étant donné le volume élevé obtenu des enchères. Un tel pourcentage reflète d'ailleurs le volume recherché en ordre de grandeur par les industriels dans les ventes aux enchères selon des discussions que nous avons eues avec ceux-ci durant les derniers mois. Ces secteurs forestiers deviendront des données d'entrée à notre modèle d'optimisation, en termes de volumes significatifs, de proximité géographique par rapport aux scieries et de composition en essences de bois. Le modèle veillera alors à sélectionner parmi ces secteurs ceux qui sont les plus optimaux compte tenu de la soumission calculée.

4.1.1.2 Les unités de transformation

▪ Scieries

A la scierie, le sciage est la première étape des trois principales activités. Le bois scié est généralement séché et raboté au même endroit, bien qu'il existe aussi un marché pour le bois vert (non séché) et pour le bois brut (non raboté). Les billes sont transformées en bois d'œuvre de différentes dimensions et longueurs, ainsi qu'en sous-produits tels les copeaux. Les scieries de la compagnie forestière en question fabriquent une large gamme de bois d'œuvre brut et raboté, vert ou sec, pour l'industrie de la construction. Pour ce faire, les essences de bois que les unités d'affaires utilisent sont : Épinette noire, sapin baumier et pin gris qui permettent de générer un panier de produits de différentes dimensions nominales 1×4, 1×6, 2×3, 2×4 et 2×6 et de longueurs qui varient de 6 à 16 pieds. Dans nos travaux nous supposons que le sciage est équivalent à un seul produit qui dépend seulement de l'essence « bois d'œuvre épinette » et « bois d'œuvre sapin ».

N'ayant pas de données concernant les capacités de production, nous avons donc utilisé les données ci-dessous :

Tableau 8: Capacité de production des scieries

<u>Usines</u>	<u>Capacité de production annuelle (m³/an)</u>
Scierie1	470 000
Scierie2	600 000

▪ Papetières

Les papetières de cette compagnie fabriquent deux sortes de produits, le papier journal et le papier couché (pour magazine). Les trois machines à papier de la papetière 1 produisent du papier journal de haute qualité, composé de pâte thermomécanique et de pâte recyclée. Sa capacité de production est de 305 000 tonnes métriques/an. La papetière 2 est aussi dotée de deux machines à papier pour la production de papier journal cette fois composé à 100% de pâte thermomécanique. Les réglages automatiques des machines assurent la qualité uniforme du papier. Il faut en moyenne 1,02 tonne de copeaux afin de fabriquer une tonne de papier journal. Le mélange requis pour faire du papier est composé de copeaux d'épinettes et de sapin. La capacité de production nominale de la papetière 2 est de 360 000

tonnes métriques/an. La papetière 3 est spécialisée dans la production de papier couché avec une capacité de production de 260 000 tonnes métriques/an.

Tableau 9: Capacité de production et produits de la papetière

<u>Usines</u>	<u>Produits</u>	<u>Capacité de production (tm/an)</u>
Papetière 1	Papier journal	305 000
Papetière 2	Papier journal	360 000
Papetière 3	Papier couché (magazine)	260 000

4.1.1.3 Les marchés de la compagnie forestière

La compagnie forestière doit donc veiller à satisfaire le marché de bois d'œuvre via ses scieries et la demande en papier à partir de ses papeteries. Cette demande hebdomadaire pour les différents marchés a été générée aléatoirement selon une loi normale de moyenne égale au plan de production hebdomadaire de chaque usine avec une variance égale à 0,33 fois la moyenne (Fang, 2007).

4.2 Hypothèses du cas à l'étude

Nous présentons ici d'autres hypothèses que nous avons considérées dans la modélisation :

4.1.1 Horizon de planification

L'horizon de planification que nous avons choisi est de deux ans, soit 24 périodes d'un mois. Ainsi, pour chaque scénario, nous modélisons un premier modèle de planification anticipative mono périodique (période = 2 ans) qui permet de prendre la décision sur la combinaison optimale des sources d'approvisionnement (secteurs forestiers dans les ventes de bois aux enchères et forêts privées) à considérer. Une fois les résultats de ce premier modèle obtenus, nous les utilisons dans notre deuxième modèle périodique afin de déterminer les différentes décisions de planification typiques d'une compagnie forestière puis de calculer les coûts réels.

4.1.2 Les enchérisseurs

Pour chaque secteur forestier i , les enchérisseurs j accordent une évaluation privée v_{ij} et une soumission b_{ij} . Dans notre modèle, nous ne tenons pas compte des évaluations et des soumissions des autres enchérisseurs, seulement de la soumission de la compagnie

forestière de l'étude. Pour les autres enchérisseurs, nous considérons seulement le nombre de participants comme facteur qui pourra influencer la soumission de la compagnie. Dans l'expérimentation, nous supposons que nous avons 7 enchérisseurs qui participent aux enchères (nous avons considéré ce chiffre qui est très près du nombre d'industriels forestiers actifs sur la scène des ventes de bois aux enchères).

4.1.3 Les secteurs forestiers

Dans les ventes aux enchères, le BMMB affiche sur le site les différents secteurs objet de la vente. La recherche de secteurs pour un enchérisseur pourra se faire par type de vente, par volume, par prix estimé ou par territoire. Dans notre cas d'étude, nous nous intéressons seulement aux secteurs qui se trouvent sur le même territoire que les usines de la compagnie forestière à l'étude et dont la composition en termes d'essences s'avère intéressante pour la compagnie.

4.1.4 L'évaluation privée, le prix minimum et le prix maximum

Nous allons rappeler ici les différents paramètres nécessaires pour établir la soumission optimale et présenter les hypothèses considérées pour chacun de ses paramètres :

L'évaluation privée v_i pour les différents secteurs forestiers i qui intéressent la compagnie forestière est générée aléatoirement entre un prix minimum et prix maximum déterminé à l'avance :

$$v_i \in [P_{min} P_{max}]$$

Le prix minimum P_{min} représente le prix minimal que la compagnie forestière considère. Dans le cas idéal, le prix minimum d'un secteur forestier devra être le prix de réserve. Comme ce prix n'est pas divulgué dans le modèle d'enchère québécois, nous considérons donc le prix estimé affiché par le BMMB comme borne inférieure de prix. Pour valider l'hypothèse, une analyse a été faite sur l'historique des ventes entre juin 2011 et juin 2014. Les résultats montrent que le prix de vente dépasse le prix estimé pour la majorité des différents secteurs forestiers vendus (Figure 18). En effet, en 2011, les secteurs qui ont été vendus avec un prix de vente supérieur au prix estimé représentent 84% des secteurs. En 2012, ce pourcentage augmente à 91% et en 2013, à 99% alors qu'il atteint 100% en 2014 (Figure 19). Ainsi, dans environ 95% des cas, les secteurs forestiers vendus de 2011 jusqu'à 2014 ont été achetés via un prix de vente supérieur au prix estimé, ce qui montre que les

enchérisseurs ne font pas de mise inférieure au prix estimé. L'hypothèse de considérer le prix estimé affiché par le BMMB comme le prix minimal tient donc la route.

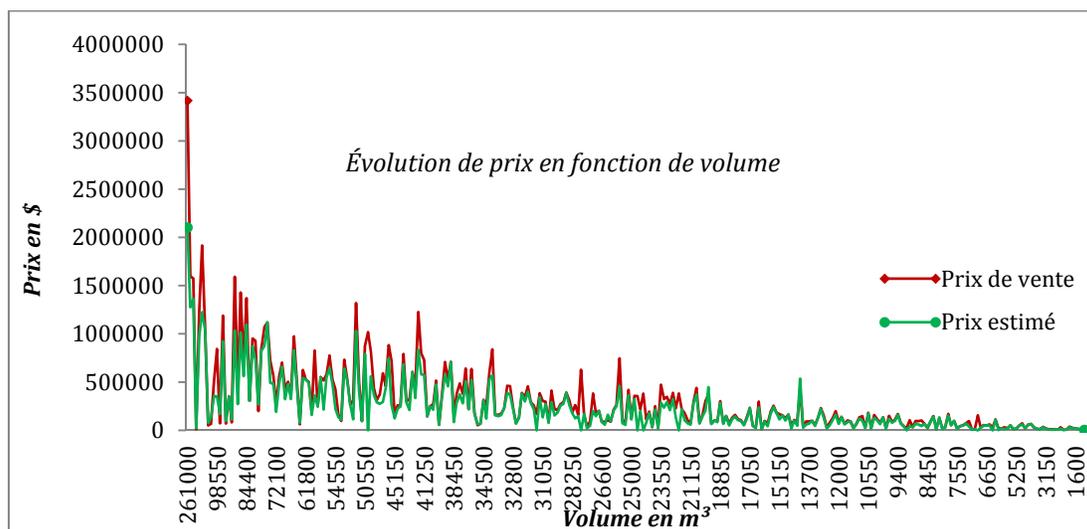


Figure 18: Évolution de prix en fonction de volume vendu aux enchères

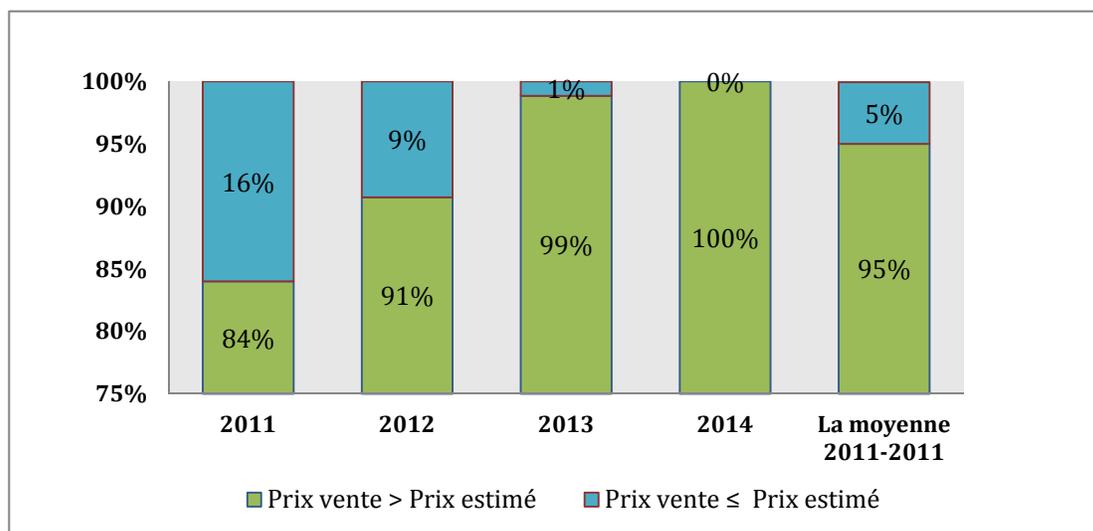


Figure 19: Prix estimé et prix de vente

Le **prix maximum** P_{max} représente la borne supérieure que la compagnie forestière est prête à payer pour un secteur forestier i dans les enchères. Tel que présenté dans le précédent chapitre, le P_{max} pourra être calculé en utilisant la formule suivante :

$$P_{max} = R_i - CR_i - CT_i - \varepsilon$$

Avec :

R_i = Revenu des produits finis générés du secteur forestier i

CR_i = Coût de récolte du secteur i

CT_i = Coût total de transport relatif au secteur i

Dans notre modélisation, comme nous n'avons pas de données réelles, nous utilisons l'historique des mises des ventes gagnantes pour les secteurs forestiers potentiellement intéressants pour la compagnie (bonne essence, bon secteur) comme borne maximale (la valeur de mise la plus haute).

Le Tableau 10 résume la simulation faite pour générer l'évaluation privée et calculer la soumission optimale pour les différents secteurs pertinents pour la compagnie forestière :

Tableau 10: Calcul de la soumission optimale

<u>Secteur</u>	<u>Volume</u> <u>(en m³)</u>	<u>Prix min</u> <u>(en \$)</u>	<u>Prix max</u> <u>(en \$)</u>	<u>Évaluation</u> <u>(en \$)</u>	<u>Soumission¹</u> <u>(en \$)</u>
Source 3	31 650	120 000	170 277	147 816	150 782
Source 4	24 950	250 000	355 179	332 016	259 973
Source 5	49 100	559 000	814 000	633 804	742 417
Source 6	85 000	880 000	990 000	953 535	906 904
Source 7	81 650	872 000	951 000	912 772	906 539
Source 8	60 000	700 000	900 000	782 583	150 782
Source 9	37 250	220 000	225 000	222 897	259 973

¹ La soumission est calculée en utilisant la formule de la stratégie de mise optimale avec un nombre d'enchérisseurs $N = 7$ utilisé dans le premier modèle de planification. Puis avec $N = 6$ dans le modèle de collaboration.

4.3 Démarche de résolution mathématique

En exploitant toutes les données déjà présentées et en respectant les hypothèses établies, nous avons d'abord résolu le modèle de planification forestière de base, dans le but de sélectionner la combinaison optimale de secteurs forestiers d'après la soumission calculée avec la stratégie de mise optimale. Ensuite, nous avons récupéré l'information concernant la décision des secteurs sélectionnés et l'avons introduite de nouveau dans le modèle d'optimisation. Nous avons alors solutionné une deuxième fois le modèle pour faire ressortir les résultats concernant les différents coûts et le profit de la compagnie forestière.

La Figure 20 résume les activités et les événements pour le modèle de planification forestière sans stratégie alternative (Modèle 1).

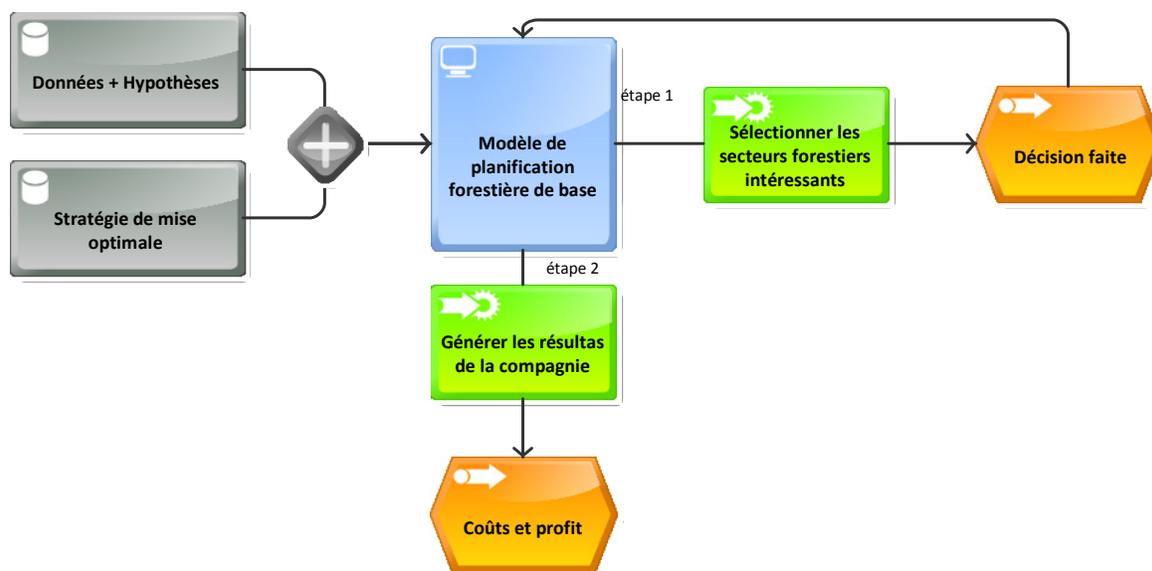


Figure 20: Démarche de résolution pour le Modèle 1

Pour le modèle de planification forestière avec stratégie d’achat sur terres privées, la même démarche a été suivie. La seule différence réside dans l’ajout de variables et de contraintes propres à cette stratégie pour bien choisir à la fois les secteurs forestiers dans les ventes aux enchères et les sources d’approvisionnement sur terres privées. En effet, nous proposons au modèle d’optimisation des volumes et des prix pour des essences qui intéressent la compagnie, ce qui reflète la dynamique d’approvisionnement via la forêt privée. L’avantage ici est que le modèle d’optimisation a la possibilité d’effectuer des comparaisons entre ce qui est proposé dans les enchères et ce que l’industriel pourra obtenir des terres privées via des ententes.

La Figure 21 résume les activités et les événements pour le modèle de planification forestière avec stratégie d’achat sur terres privées (Modèle 2).

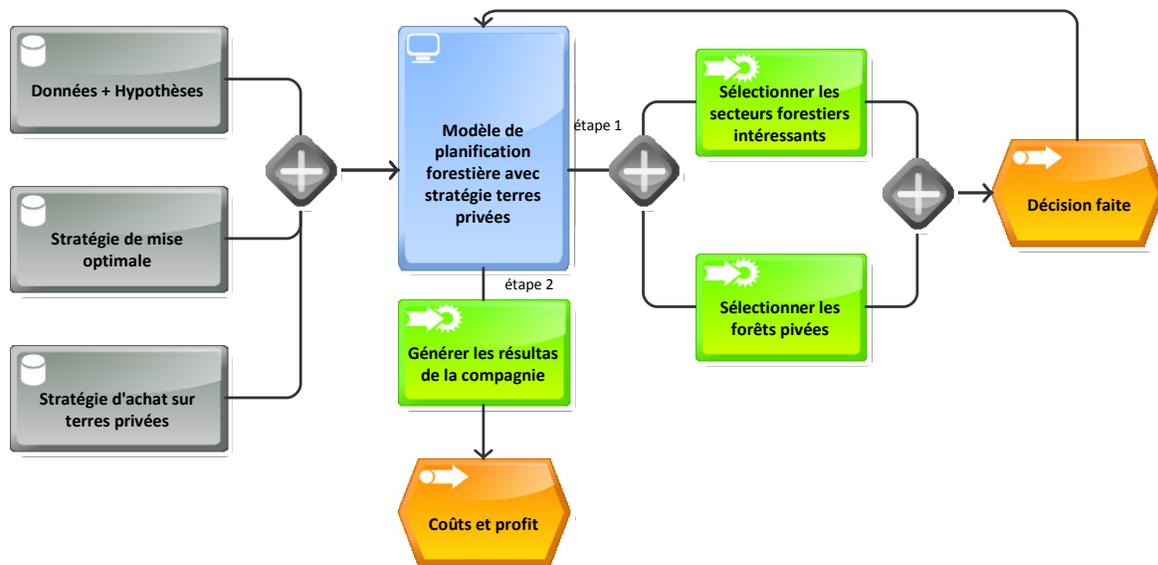


Figure 21: Démarche de résolution pour le Modèle 2

Enfin pour le modèle de planification forestière avec stratégie de collaboration, de nouvelles variables et contraintes sont ajoutées pour prendre en compte le besoin d'un partenaire dans le processus d'approvisionnement de la compagnie via les enchères. Cette modification affectera évidemment la décision de modèle sur les secteurs forestiers à choisir, allant même jusqu'à considérer d'autres secteurs qui n'étaient pas dans le champ d'intérêt de la compagnie au départ (modèle de base). Nous avons d'ailleurs ajouté dans les données d'optimisation d'autres secteurs forestiers jugés pertinents pour voir le comportement du modèle (secteurs 8 et 9 dans le Tableau 11).

La Figure 22 résume la démarche de résolution pour le modèle de planification forestière avec stratégie de collaboration (Modèle 2).

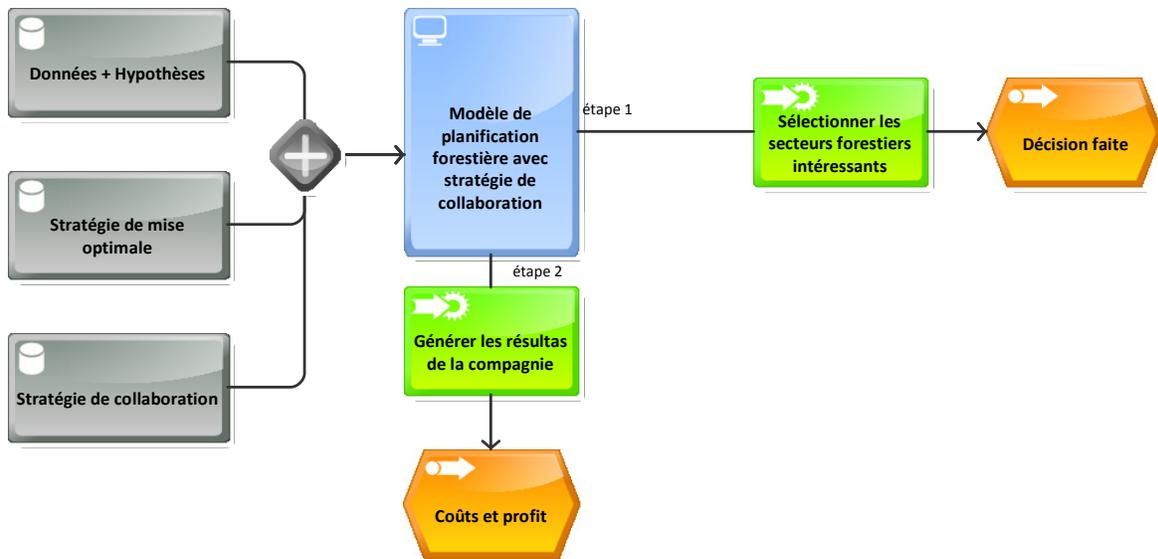


Figure 22: Démarche de résolution pour le Modèle 3

4.4 Résultats & interprétation

Dans cette partie, nous présentons les résultats obtenus suite à l'expérimentation des diverses stratégies d'approvisionnement. Nous décrivons d'abord les résultats du modèle de planification de base dans un contexte d'enchère de bois sans stratégie d'approvisionnement (*Scénario 1*), puis nous mettons en lumière les résultats générés une fois les différentes stratégies d'approvisionnements intégrées. Rappelons que nous avons proposé deux stratégies d'approvisionnement : stratégie d'achat sur terres privées (*Scénario 2*) et stratégie de collaboration (*Scénario 3*).

4.4.1 Résultats sans stratégie d'approvisionnement (Scénario 1)

Le premier scénario testé via le modèle de planification forestière développé fait référence à l'état actuel d'après lequel la compagnie forestière a seulement la garantie et la vente de bois aux enchères comme sources d'approvisionnement. Nous présentons tout d'abord le graphique des coûts, à savoir le coût de récolte, le coût de transport, le coût de production et le coût de stockage obtenus de la résolution du modèle de planification sur deux ans. A ces coûts typiques nous ajoutons les coûts relatifs aux enchères (Figure 23).

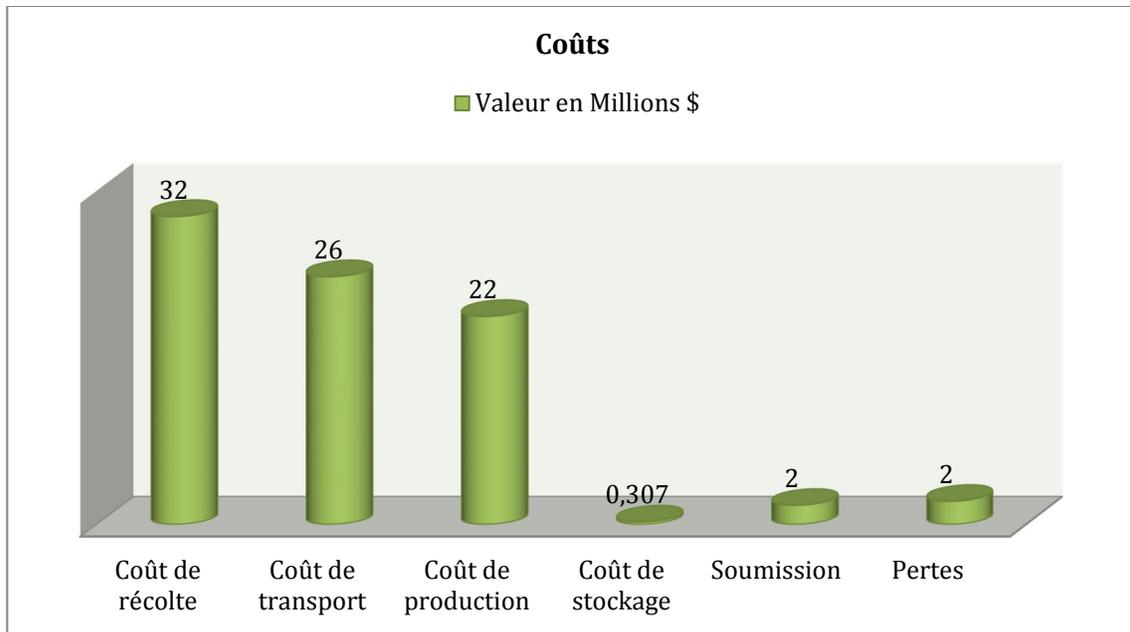


Figure 23: Coûts associé au modèle de planification forestière sans stratégie d'approvisionnement (scénario 1)

La Figure 24 présente la répartition de ces différents coûts en pourcentage. Selon des discussions avec des industriels, il est de mise d'obtenir des coûts de récolte et de transport représentant plus de 50 % du coût total, ce qui coïncide avec nos résultats. En effet, nous avons trouvé que ces deux coûts représentent 57 % du coût total de la compagnie. Le coût de production représente 26 % du coût total, alors que le coût de stockage qui est de 307 035 \$ s'avère négligeable par rapport aux autres coûts. Pour les coûts associés aux ventes de bois aux enchères, nous distinguons essentiellement deux types de coût dans nos travaux : un concernant la soumission pour les secteurs forestiers proposés par le BMMB dans les enchères et un autre que nous avons appelé « Perte ». Il s'agit d'un coût associé aux essences non désirées par la compagnie d'un secteur forestier gagné lors des ventes de bois aux enchères. En effet, ce coût représente une perte pour la compagnie puisqu'elle est obligée de miser sur un secteur au complet.

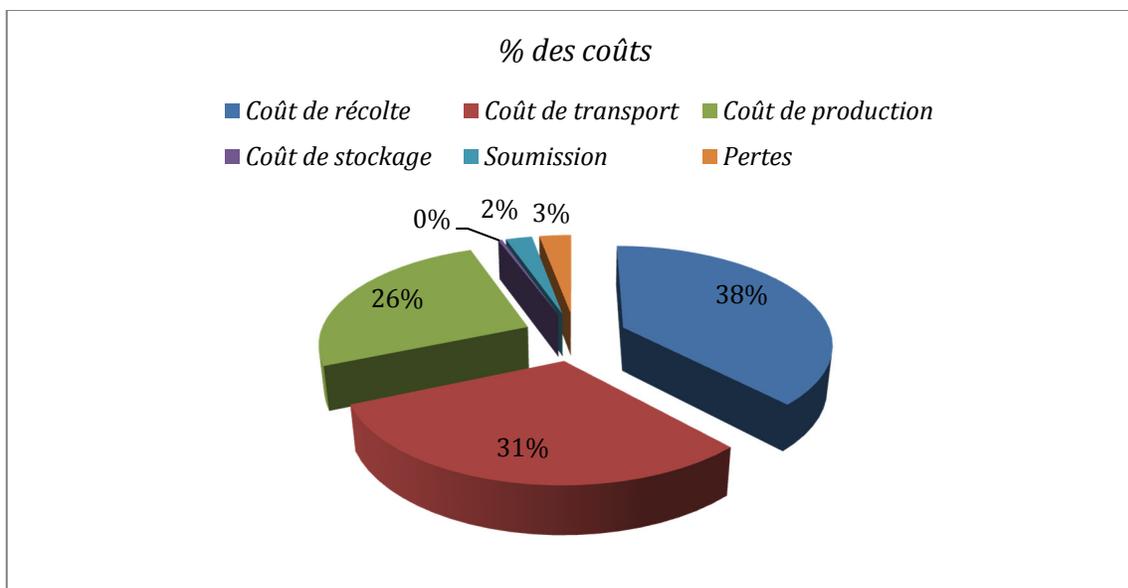


Figure 24: Répartition des coûts en % (scénario 1)

Pour la soumission totale faite aux enchères, elle est égale à 2 060 075 \$ pour deux années dont les détails de coût par secteur sont le suivant :

Tableau 11: Décisions du modèle concernant les secteurs forestiers mis aux enchères

Sources d’approvisionnement	Volume en m ³	Coût d’achat en \$ (soumission)	Recommandation d’achat par le modèle
Source 3	31 650	150 782	OUI
Source 4	24 950	259 973	OUI
Source 5	49 100	742 417	OUI
Source 6	85 000	906 904	OUI
Source 7	81 650	906 539	NON

Selon le tableau ci-dessus, nous remarquons que la sélection la plus optimale des secteurs forestiers que notre modèle propose à la compagnie est la suivante : Sources 3, 4, 5 et 6. Le modèle n’a pas sélectionné la source 7 dans sa décision, ce qui veut dire que la compagnie ne devrait pas miser sur ce secteur-là. Nous trouvons d’ailleurs cette décision logique étant donné que la composition des essences présentes dans cette source n’est pas avantageuse pour l’activité de la compagnie. L’Annexe C fournit plus de détails sur chacune de ces sources (essences, répartition en %, volume des essences). La localisation de différents secteurs forestiers représente aussi un critère de sélection important.

Au total, le volume de bois approvisionné des enchères représente 24 % du besoin total de la compagnie (Figure 25). La répartition des volumes obtenus dans les enchères et dans la garantie (76% obtenus des garanties) reflète bel et bien la dynamique d'approvisionnement forestier des industriels sur la scène québécoise suite à la mise en place du nouveau régime.

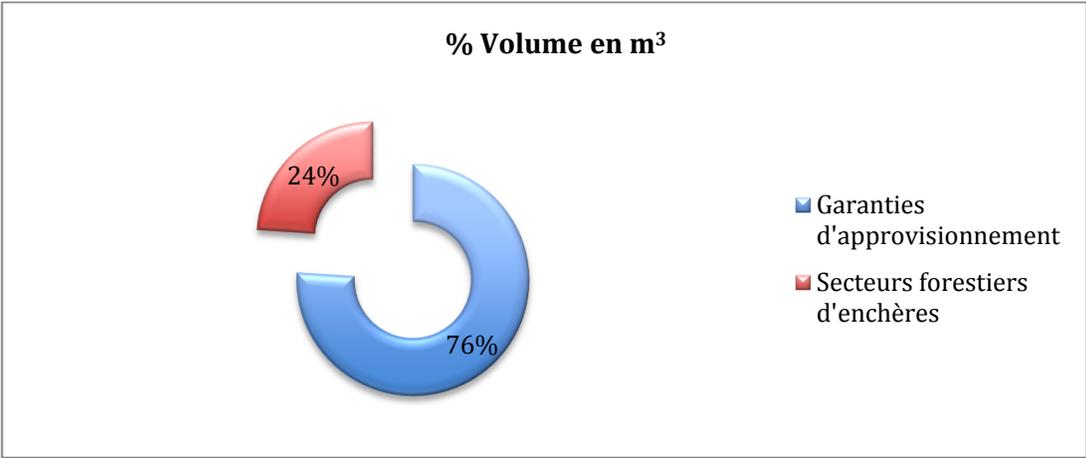


Figure 25: Pourcentage de bois garanties et enchères (scénario 1)

La Figure 26 illustre le résultat global de la compagnie forestière dans ce premier scénario. Ainsi la compagnie réalise un profit total égal à 212 millions de dollars sur deux ans englobant le revenu de deux scieries (199 millions de dollars) et de trois papetières (98 millions de dollars) moins leur différents coûts (85 millions de dollars) présentés en détails dans la Figure 23.

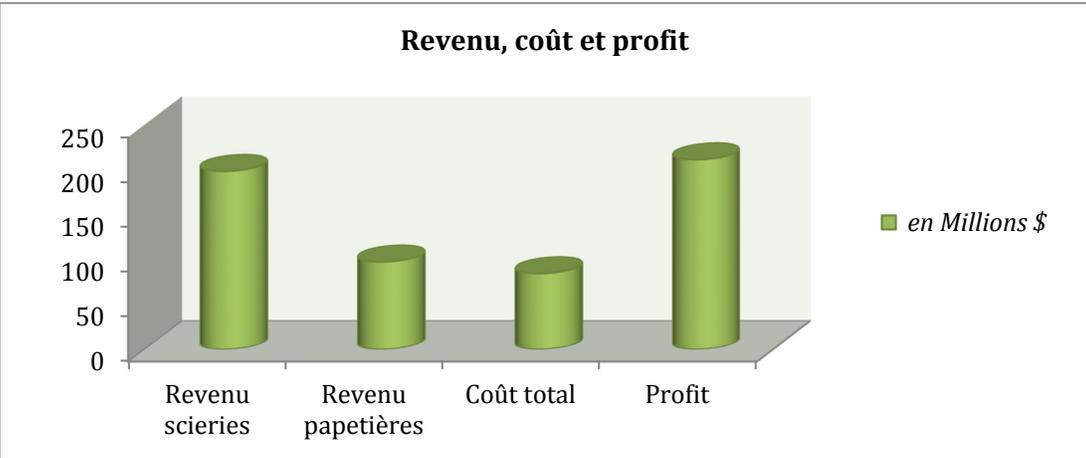


Figure 26: Revenu, coût et profit de la compagnie (scénario 1)

4.4.2 Résultats avec stratégie d'achat sur terres privées (scénario 2)

Dans ce second scénario, nous considérons une stratégie d'approvisionnement qui repose sur l'approvisionnement en forêt privée. Le premier graphique de coûts (Figure 27) montre l'apparition d'un nouveau coût qui est le coût d'approvisionnement de la forêt privée égale, alors que la Figure 28 présente la répartition de ces différents coûts en pourcentage. Le coût de récolte et le coût de transport représentent ensemble 52 % de l'ensemble des coûts.

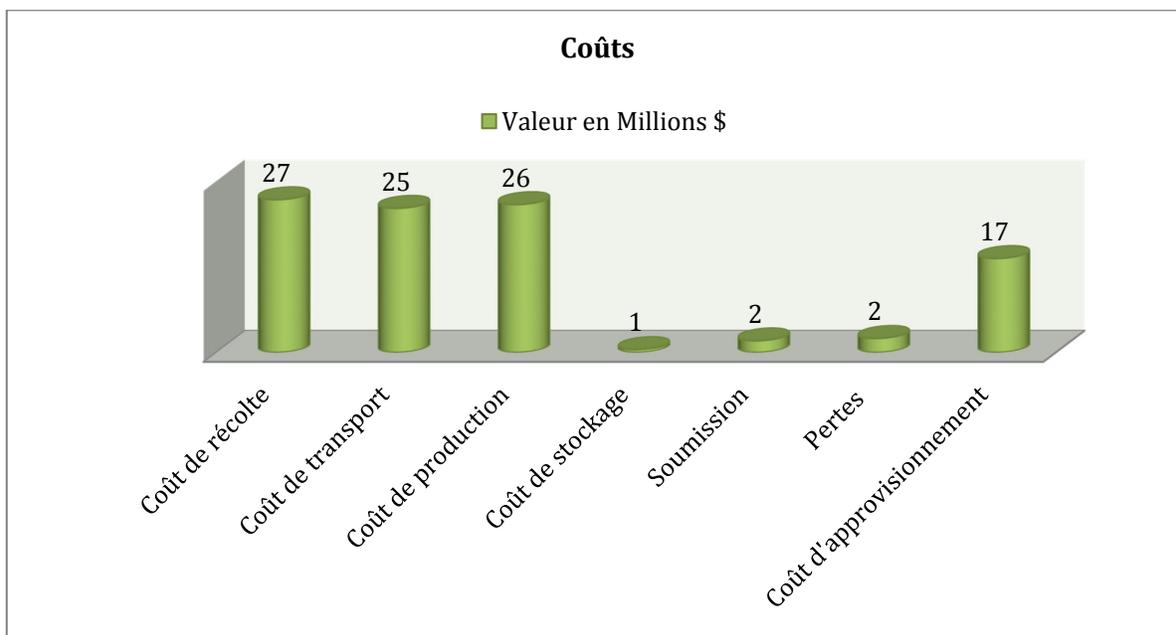


Figure 27: Coûts associés au modèle de planification forestière avec stratégie d'achat sur terres privées (scénario 2)

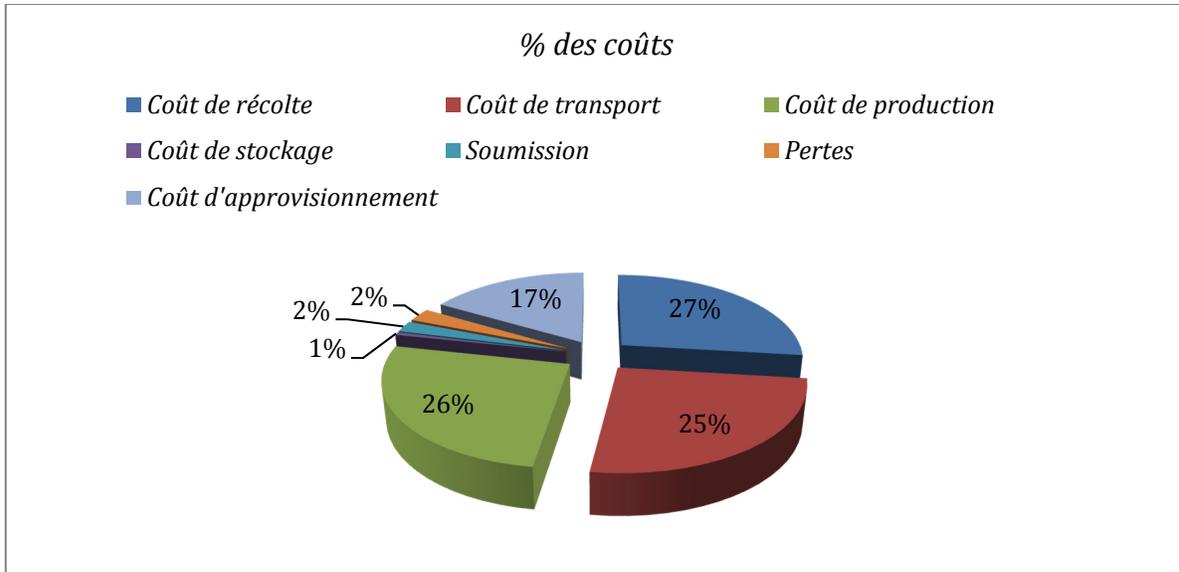


Figure 28: Répartition des coûts (scénario 2)

La Figure 29 illustre le volume de bois provenant de chaque source d’approvisionnement (garantie, enchères et terres privées). Nous remarquons que 13 % du besoin en bois vient des terres privées, alors que 17 % vient des enchères et 70 % vient de la garantie.

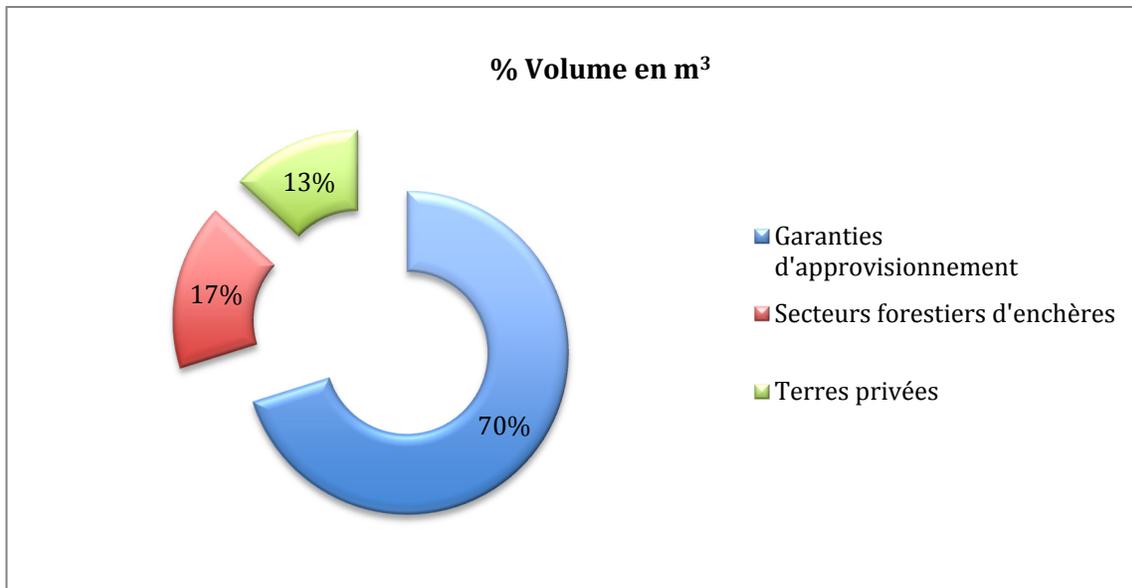


Figure 29: Pourcentage de bois : garantie+ enchères+ terres privées (scénario 2)

En effet, nous avons proposé à notre modèle d’optimisation trois sources d’achat de bois sur des terres privées dont les détails de volumes sont illustrés dans le Tableau 13. Le

modèle a ainsi choisi de ne retenir que les secteurs A et B. Le prix de vente des essences désirées dans la source non sélectionnée est légèrement supérieur aux deux premières sources. Décisions du modèle concernant les sources d'approvisionnement

Tableau 12: Décisions du modèle concernant les sources d'approvisionnement

Sources d'approvisionnement (terres privées)	Volume en m ³	Recommandation d'achat par le modèle
Source A	80 000	OK
Source B	70 000	OK
Source C	49 100	NOK

Dans le scénario d'achat sur terres privées, la compagnie forestière a réalisé un profit égal à 222 millions de dollars sur deux ans, ce qui traduit une légère augmentation de profit (5 %) par rapport au premier scénario où la compagnie s'approvisionnait seulement des garanties et des enchères.

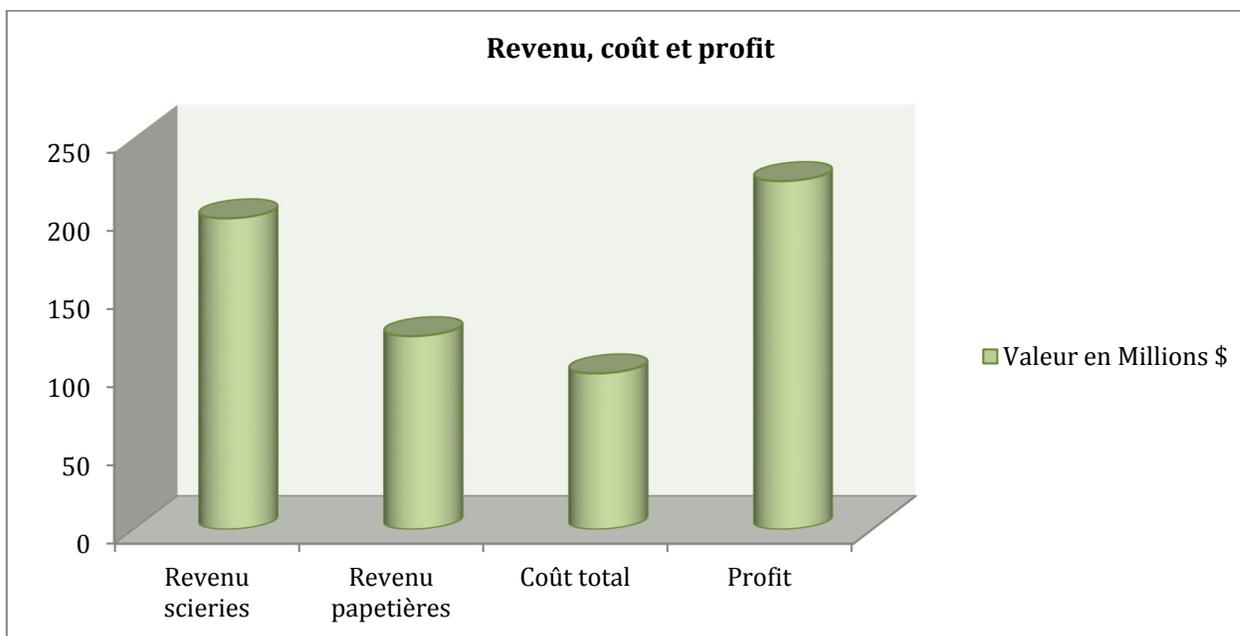


Figure 30: Revenu, coût et profit de la compagnie (scénario 2)

Nous observons ainsi que le fait d'ajouter l'approvisionnement via des forêts privées comme stratégie d'approvisionnement procure à la compagnie certains avantages : Les

forêts privées constituent une source d’approvisionnement stable et certaine par rapport aux ventes aux enchères; les forêts privées s’avèrent également une source d’approvisionnement plus flexible, c’est-à-dire que l’industriel forestier a plus de chance d’acheter seulement les essences de bois désirées.

4.4.3 Résultats avec stratégie de collaboration (scénario 3)

Ce troisième scénario explore un cadre de collaboration entre la compagnie forestière en question et d’autres partenaires (coopératives, autres entreprises forestières, etc.). Dans notre cas, nous allons tester une collaboration avec un seul partenaire. En effet, ce dernier exprimera son besoin en matière ligneuse à la compagnie forestière qui ajoutera par la suite ce besoin dans son processus d’approvisionnement, plus précisément dans sa stratégie de mise pour les ventes aux enchères. Nous présentons dans la Figure 31 les différents coûts de la compagnie à savoir le coût de récolte, le coût de transport, le coût de stockage et celui de transformation lorsque cette dernière applique une stratégie de collaboration. Sur le graphique nous trouvons aussi les coûts liés aux enchères (la soumission et la perte liée aux essences non désirées).

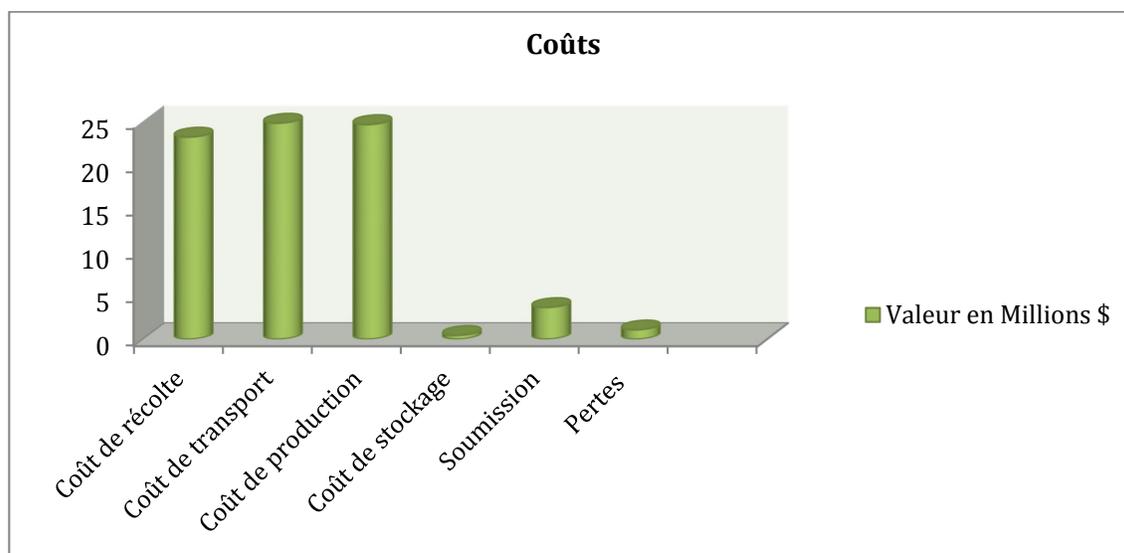


Figure 31: Coûts associés au modèle de planification forestière avec stratégie de collaboration (scénario 3)

Nous remarquons que la soumission déposée auprès du BMMB est relativement plus importante dans le scénario de collaboration. En effet, la compagnie a misé sur des secteurs forestiers qui ne l’intéressaient pas nécessairement dans les scénarios précédents afin de combler le besoin de son partenaire tout en profitant des essences qui l’intéressent dans ces

secteurs. Sur la Figure 32, nous constatons que le coût payé au BMMB représente un pourcentage de 5% pour un volume total de 279 050 m³ acquis.

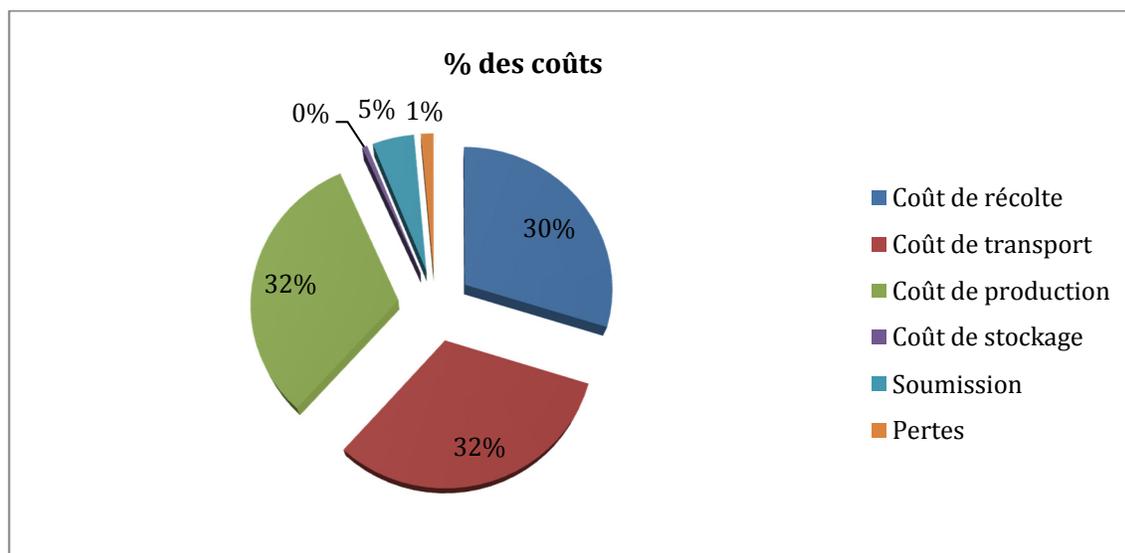


Figure 32: Répartition des coûts (scénario 3)

Le graphique ci-dessous présente la répartition du volume de bois acquis dans la garantie et dans les enchères. 74 % du besoin en matière ligneuse de la compagnie vient des garanties alors que 26 % vient des enchères.

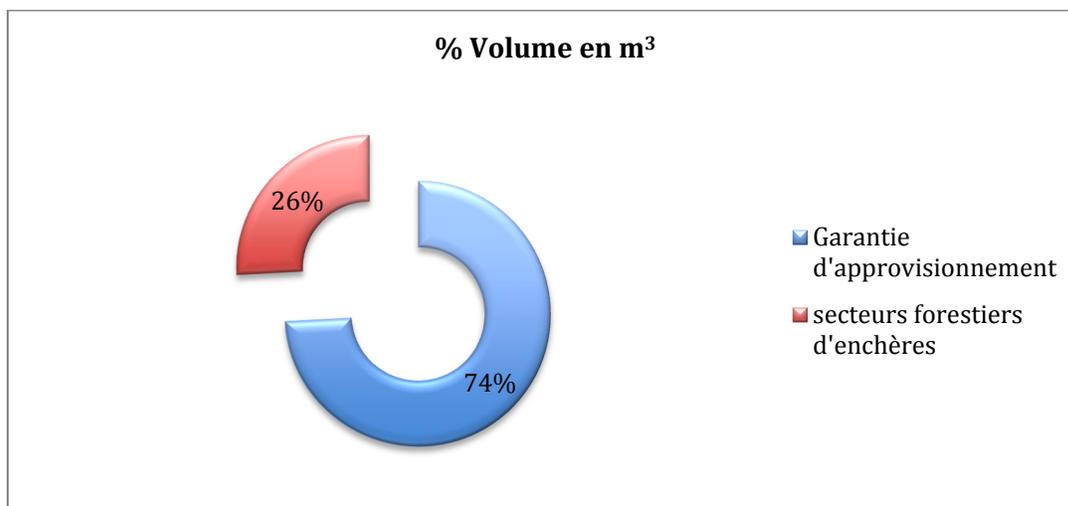


Figure 33: Pourcentage de bois (scénario 3)

Dans le scénario de collaboration, la compagnie forestière a réalisé un profit égal à 245 millions de dollars sur deux ans englobant le revenu des scieries (199 000 000\$) et des papetières (115 000 000\$) plus le gain issu de la collaboration (31 000 000\$) moins le coût total (99 000 000\$). Le gain de la collaboration est calculé de la manière suivante : Prix

d'une essence que le partenaire souhaite avoir * volume souhaité. Le prix et le volume sont établis via une entente entre la compagnie forestière et le partenaire qui exprime son intérêt face à un secteur forestier en entier ou encore à une essence désirée dans ce secteur. C'est avec ce scénario que la compagnie a réalisé le profit le plus élevé.

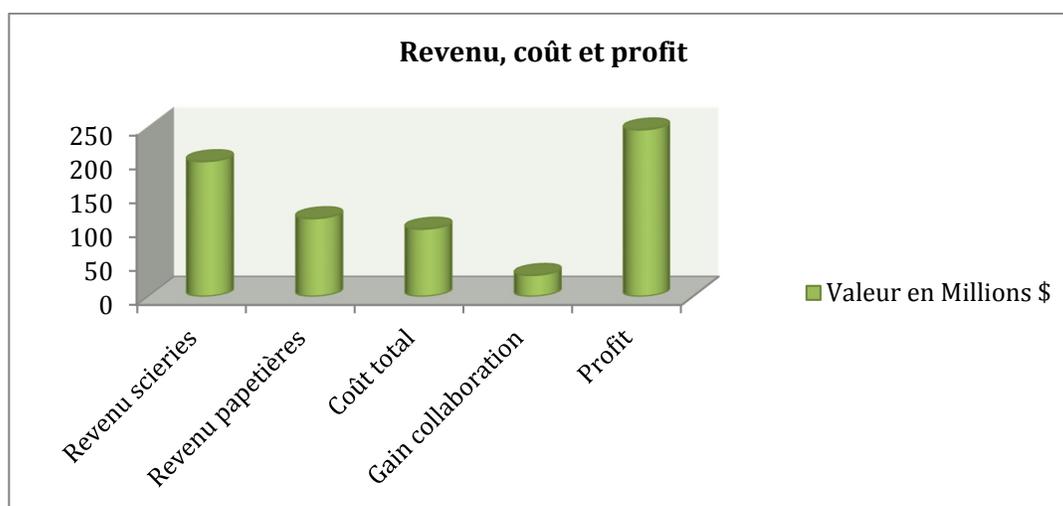


Figure 34: Revenu, coût et profit de la compagnie (scénario 3)

Pour conclure, nous présentons un tableau qui résume les résultats pour les 3 scénarios explorés. Rappelons que ces valeurs sont pour une période de deux ans.

Tableau 13: Synthèse des coûts en \$ pour les 3 scénarios testés

Scénarios	Coût de récolte (\$)	Coût de production (\$)	Coût de transport (\$)	Coût de stockage (\$)	Coût d'achat de bois des enchères (\$ (soumission))	Volume de bois des enchères (m ³)	Coût d'approvisionnement des terres privées (\$)
Sans stratégie	32 359 939	21 891 776	26 054 367	307 035	2 060 075	190 700	-
Achat sur terres privées	26 809 939	25 953 339	25 303 384	526 035	2 482 740	340 700	16 500 000
Collaboration dans les enchères	23 225 944	24 659 459	24 821 626	458 385	3 671 614	279 050	-

Nous remarquons sur la Figure 35 que les coûts de transport et de récolte liés au scénario 1 (sans stratégie) sont les coûts les plus élevés par rapport aux deux autres scénarios. Ainsi

c'est le scénario de la stratégie de collaboration qui présente les coûts de transport et de récolte les moins élevés.

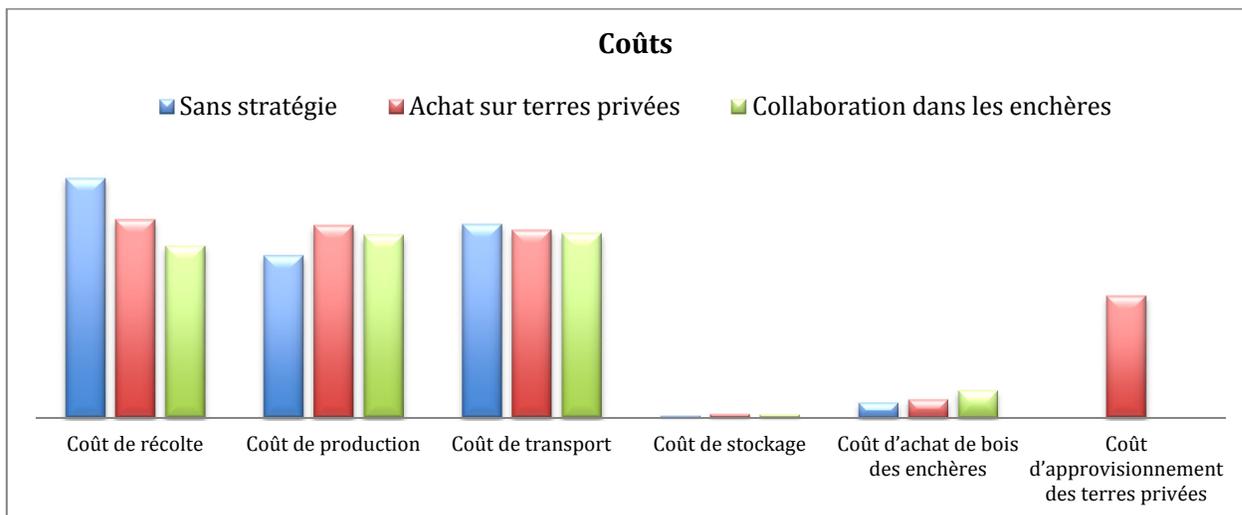


Figure 35: Comparaison coûts

La stratégie d'approvisionnement reposant sur la collaboration a elle aussi certains avantages. En effet, ce scénario a l'avantage de diminuer la perte des essences non désirées dans les secteurs forestiers pour lesquels la compagnie souhaite miser, d'augmenter les chances de gagner aux enchères, et de conduire une mise plus élevée, tout en générant le profit le plus élevé pour la compagnie forestière (Figure 36).

Nous tenons à rappeler que ces résultats sont basés sur des estimations de coûts et de revenus d'une entreprise forestière.

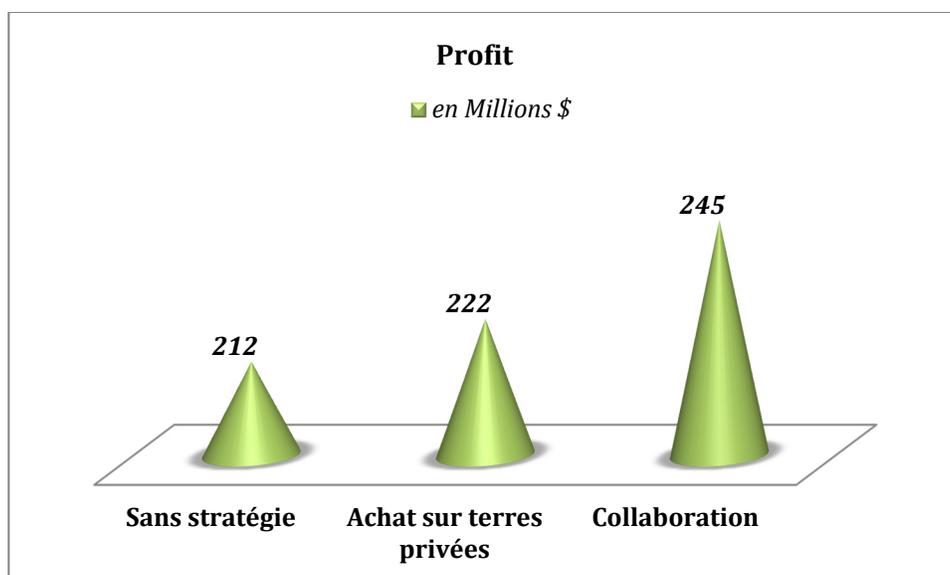


Figure 36: Comparaison des profits de la compagnie forestière pour chaque scénario

4.5 Analyse via la variation des paramètres de la stratégie de mise optimale

Dans cette sous-section, nous cherchons à étudier l'impact d'un changement apporté à un paramètre de la soumission. Cette analyse sera faite à partir de la soumission relative au modèle de planification forestière de base.

Nous rappelons que les paramètres qui entrent dans le calcul de la soumission sont les suivants :

- La borne minimale P_{\min}
- L'évaluation privée de l'enchérisseur j pour le secteur i v_{ij}
- Le nombre des enchérisseurs N

La formule est la suivante :

$$b^*(v_{ij}) = (1 - 1/N)v_{ij} + P_{\min}/N$$

Nous avons choisi de ne pas faire varier la borne minimale ni l'évaluation privée. En effet, suite à des conversions menées avec des industriels, nous avons pu confirmer que le fait de considérer le prix estimé comme la borne minimale dans notre simulation était valable. Les résultats présentés précédemment montrent par ailleurs que dans plus de 95 % des cas, les prix de vente des secteurs forestiers dans les enchères sont de beaucoup supérieurs à ce prix minimal. De la même manière, puisque l'évaluation privée v_{ij} de l'enchérisseur j pour le secteur j ne change pas, nous n'avons pas cru pertinent de faire varier ce paramètre.

L'évaluation propre de l'industriel forestier pour le secteur sur lequel il souhaite miser change d'un industriel à l'autre. Toutefois cette évaluation ne changera pas pour un même secteur venant de la part du même industriel. Nous avons donc choisi de varier le seul paramètre restant, N, représentant le nombre d'enchérisseurs.

Analyse A : Variation du nombre de joueurs

L'Annexe E présente le calcul de la soumission pour les mêmes secteurs forestiers sélectionnés dans le modèle de planification de base pour un nombre variable de joueurs allant de 3 jusqu'à 15. Les Figures 37, 38, 39 et 40 ci-dessous présentent les résultats des soumissions pour les secteurs 3, 4, 5 et 6 respectivement.

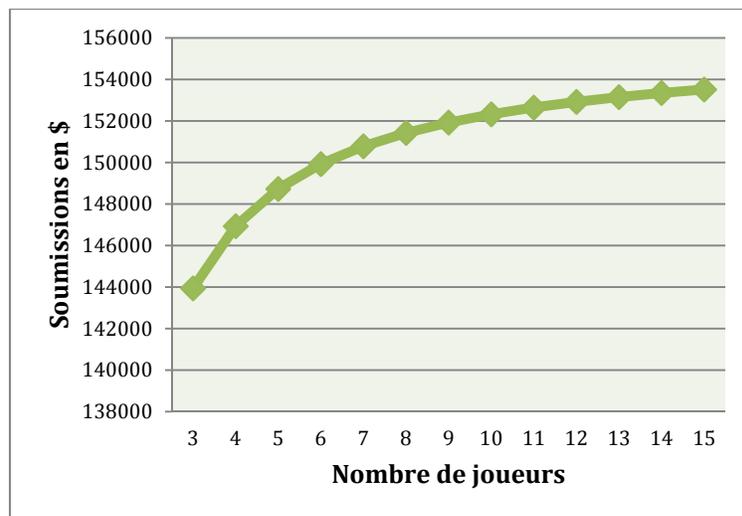


Figure 37: Évolution de la soumission pour le secteur 3

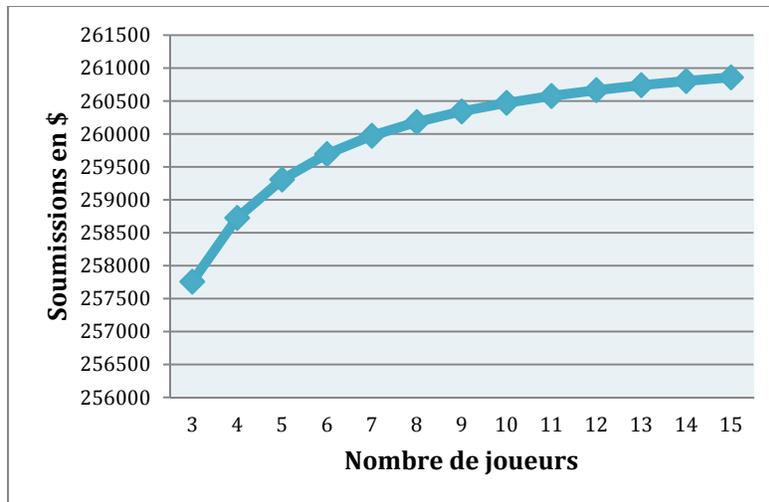


Figure 38: Évolution de la soumission pour le secteur 4

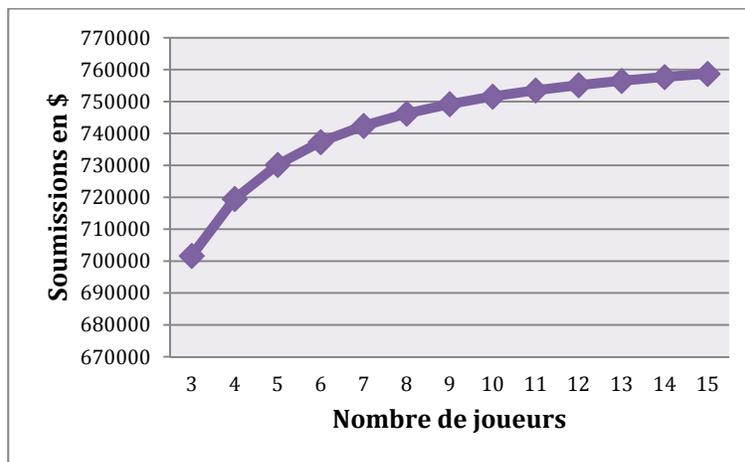


Figure 39: Évolution de la soumission pour le secteur 5

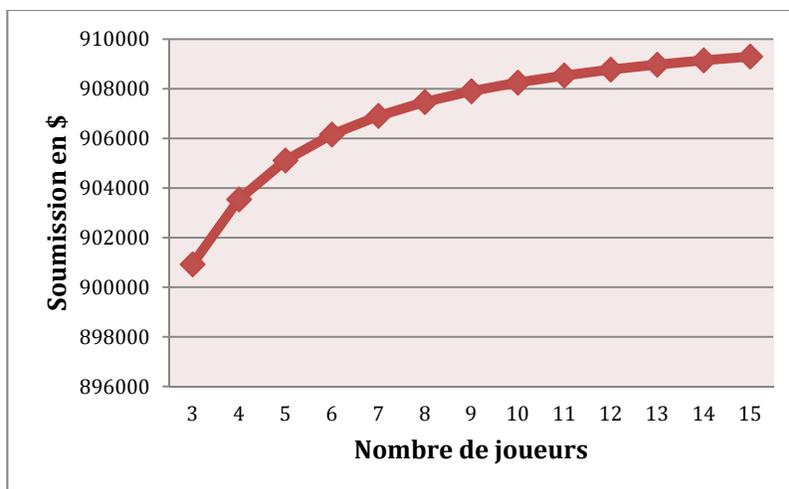


Figure 40: Évolution de la soumission pour le secteur 6

Il est ainsi possible d’observer que peu importe le secteur forestier considéré, la soumission augmente en fonction du nombre de joueurs. En effet, plus le nombre de joueurs augmente dans les ventes aux enchères, plus il y a de la concurrence sur les secteurs forestiers offerts. La soumission devra alors être plus importante. Si nous prenons par exemple le secteur 6 (Figure 40), nous remarquons que si le nombre de joueurs $N = 3$, la soumission est alors égale à 900 925\$. Si $N = 7$, la soumission devra alors être de 906 904\$. Un $N = 15$ entrainera une soumission de 909 295\$.

Nous allons maintenant comparer la soumission totale présentée dans le scénario 1 de notre cas d’étude (considérant un nombre de joueurs $N = 7$) avec le cas où $N = 3$, puis lorsque $N=15$. Nous avons choisi ces deux scénarios pour les raisons suivantes :

- $N= 3$ est le nombre minimum de joueurs pour que le BMMB procède à la vente ;
- $N= 15$ est un nombre jugé important dans la scène des ventes de bois aux enchères selon des conversations menées avec les industriels.

Sur la Figure 41, nous voyons que si la compagnie participe à l’enchère avec un nombre de joueurs total $N = 3$ et gagne, elle mise 2 004 281\$ sur les 4 secteurs forestiers proposés par le modèle. Si $N=7$, la mise est de 2 060 075\$. Si le nombre de joueurs $N = 15$, la mise est alors de 2 082 393\$. Ainsi, plus le nombre d’enchérisseurs augmente, plus la soumission de la compagnie devra aussi augmenter afin d’accroître les chances de remporter l’enchère. Cette analyse montre que le nombre possible d’enchérisseurs est une variable clé dans la

dynamique de fonctionnement des enchères de bois, autant pour les industriels que pour le gouvernement. Au Québec, le BMMB exige un nombre minimum de 3 enchérisseurs pour établir la vente. En effet, il a été démontré qu'un minimum de trois enchérisseurs, et dans certains cas particuliers de deux, était suffisant pour refléter le véritable prix du marché de bois. Toutefois, plus le nombre d'enchérisseurs augmente, plus le prix de vente risque de refléter sa juste valeur marchande (Degan et al. 2008).

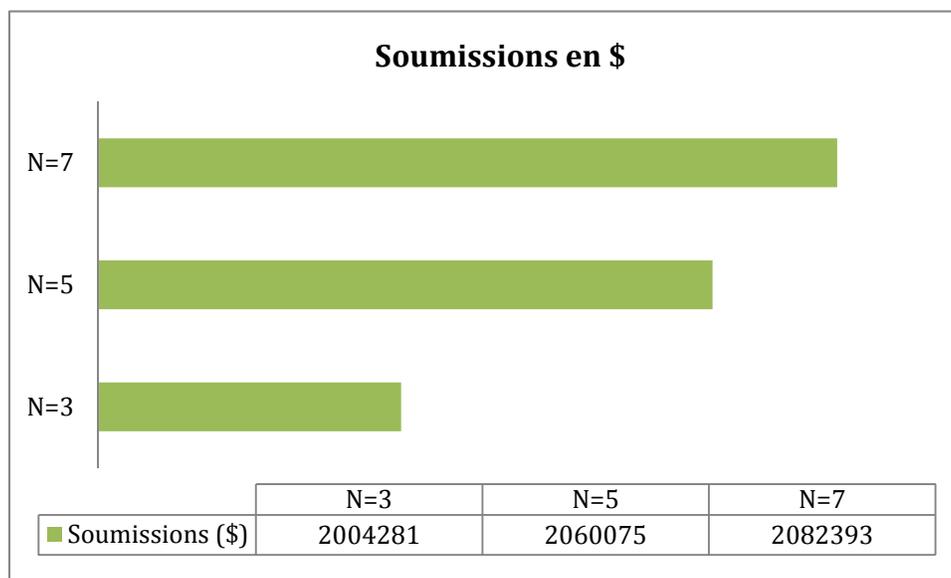


Figure 41: Comparaison soumissions en \$

Maintenant que nous avons terminé cette partie, nous tenons à préciser que le retour d'expérience de l'industriel forestier et sa connaissance de ce domaine joue un rôle important pour établir les bonnes valeurs des différents paramètres qui entrent dans le calcul de la soumission. De plus, tel que présenté dans la revue de la littérature portant sur les enchères de bois, les informations privées sur les concurrents et surtout sur les secteurs forestiers que l'enchérisseur possède jouent aussi un rôle clé dans le processus de préparation à l'enchère.

Discussion & Conclusion

Dans le cadre de ce projet de recherche, nous nous sommes intéressés à différentes stratégies d'approvisionnement forestier et à leur impact sur la planification des approvisionnements d'une compagnie forestière dans un contexte d'enchères de bois.

Pour cette fin, une revue systématique de la littérature portant sur les enchères de bois partout dans le monde a d'abord été menée. Elle nous a permis de comprendre la dynamique de fonctionnement des systèmes d'enchères de divers pays, d'identifier leurs principales caractéristiques et différences, tout en comprenant mieux les enjeux qu'ils impliquent. Cette revue a aussi mis en lumière le fait que malgré une grande utilisation du système d'enchères comme mécanisme d'approvisionnement du bois, l'exploration de stratégies permettant de faire face à son caractère incertain demeure non encore traité.

Dans un deuxième temps, une modélisation puis une étude expérimentale ont été réalisées en ciblant une compagnie forestière exploitant le système d'enchères québécois pour combler ses besoins en fibre. Pour un tel contexte, nous avons d'abord exploité le modèle mathématique de (Tas et *al.* 2012) afin d'identifier la stratégie de mise optimale dans le cadre d'enchères scellées au premier prix lorsque N joueurs y participent. Ce modèle a permis d'illustrer une moyenne de gains supérieure pour le joueur utilisant cette approche dans la détermination de la soumission à faire plutôt qu'une approche aléatoire. Nous avons par la suite utilisé cette information sur la soumission optimale en l'intégrant à l'intérieur d'un modèle de planification des approvisionnements forestiers. Une étude de cas a été réalisée dans le but de valider le modèle et de mesurer sa rentabilité pour diverses stratégies d'approvisionnement. Plus particulièrement, le modèle a été expérimenté dans le contexte actuel d'approvisionnement sans stratégie alternative, avec stratégie d'achat sur terres privées et enfin avec stratégie de collaboration avec un partenaire clé. Les résultats ont démontré que le fait d'ajouter l'achat via des forêts privées comme stratégie d'approvisionnement augmente le profit de la compagnie de 5% par rapport à l'état actuel tout en lui permettant d'avoir accès aux essences recherchées. La stratégie d'approvisionnement reposant sur la collaboration a elle aussi généré un profit plus élevé

que le cas de base reflétant la façon de faire actuelle (augmentation de 16%) tout en assurant une meilleure utilisation de la ressource forestière.

Ce travail a donc permis de comprendre la nouvelle dynamique d'approvisionnement à l'intérieur duquel les entreprises forestières québécoises sont appelées à évoluer. Il a aussi permis de tester des stratégies qui pourraient certainement guider les industriels dans l'établissement de leurs plans d'approvisionnement futurs.

La stratégie de mise optimale testée dans le cadre de ce travail suit le paradigme de l'enchère avec *valeur privée* pour analyser le comportement des offres des enchérisseurs. Or, l'incertitude quant à la valeur du bois à laquelle font face acheteurs et vendeurs conduit à analyser l'enchère, selon un deuxième paradigme: celui de la *valeur commune*. Dans un tel contexte, les enchérisseurs peuvent avoir différentes évaluations à cause de l'évolution du coût du bois dans le temps, ainsi la valeur exacte de bois est inconnue de l'acheteur lui-même. Par la suite, la stratégie de mise optimale que nous avons proposée demeure incomplète. Il faut penser à introduire la notion de temps dans les paramètres de calcul de la soumission optimale et même revoir la formulation mathématique proposée. De même, il sera plus avantageux d'introduire la notion d'horizon roulant pour les différents modèles de planification forestière développés. Chose que nous n'avons pas eu l'occasion de faire suite contrainte de temps.

Pour les stratégies d'approvisionnement proposées, nous avons choisis de tester chaque stratégie à part pour voir l'impact direct de chaque scénario sur la planification des approvisionnements d'une compagnie forestière dans un contexte d'enchères de bois. Mais, rien n'empêche de combiner ces stratégies dans un seul modèle d'optimisation et voir les résultats. De plus, on s'est limité expérimenter la stratégie de collaboration pour un seul partenaire clé. Il sera judicieux de poursuivre le travail pour un nombre plus important de partenaires et pourquoi pas élargir le cercle pour établir des collaborations avec des fournisseurs, des clients et même de compétiteurs. Surtout que nous avons démontré dans le chapitre de revue de la littérature que la stratégie de l'approvisionnement collaboratif dans

les enchères est considérée comme l'une des stratégies d'approvisionnements les plus compétitives dans un environnement d'affaires dynamique.

Ce travail pourrait alimenter des travaux futurs sur la conception de modèles d'affaires collaboratifs au niveau de la chaîne d'approvisionnement forestière et dans un contexte d'incertitude. En effet, le travail réalisé porte une meilleure visualisation et compréhension de l'approvisionnement collaboratif dans les enchères. Un système d'aide à la décision permettant la conception de chaînes d'approvisionnement forestière dans un contexte d'incertitude sera aussi une perspective de recherche.

Bibliographie

- Antonoaie, N., Antonoaie, C., & Antonoaie, V. 2011. Timber Auction In Romania And The Behaviour Of The Participating Organisations-The Need For Change. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov* 4(53): 100–101.
- Athey, S., Levin, J., & Seira, E. 2011. Comparing Open and Sealed Bid Auctions: Evidence from Timber Auctions. *The Quarterly Journal of Economics* 126(1): 207–257.
- Athey, S., Cramton, P., & Ingraham, A. 2002a. Auction-Based Timber Pricing and Complementary Market Reforms in British Columbia. *Market Design Inc. and Criterion Auctions: 1–26*. <http://www.market-design.com/>.
- . 2002b. Setting the Upset Price in British Columbia Timber Auctions. *Market Design Inc. and Criterion Auctions: 1–31*. <http://www.cramton.umd.edu/papers2000-2004/athey-cramton-ingraham-setting-upset-price-in-timber-auctions.pdf>.
- Athey, S., & Levin, J. 2001. Information and Competition in U.S. Forest Service Timber Auctions. *Journal of Political Economy* 109(2): 375–417.
- Baily, P., Farmer, D., Jessop, D., & Jones, D. 2005. Purchasing Principles and Management, ninth ed. Copyright (Licencing Agency Ltd). England: Prentice Hall. <http://www.amazon.co.uk/Purchasing-Principles-Management-Peter-Baily/dp/0273646893>.
- Baldwin, L.-H., Marshall, R.-C., & Richard, J.-F. 1997. Bidder Collusion at Forest Service Timber Sales. *Journal of Political Economy* 105(4): 657–99.
- Banerji, A., & Meenakshi, J.-V. 2004. Buyer Collusion and Efficiency of Government Intervention in Wheat Markets in Northern India: An Asymmetric Structural Auctions Analysis. *American Journal of Agricultural Economics* 86(1): 236–253.
- BMMB, Bureau de Mise en Marché des Bois. 2013. Manuel de Mise En Marché Des Bois (Version 2).
- Brannman, L.-E. 1996. Potential Competition And Possible Collusion In Forest Service Timber Auctions. *Economic inquiry* 55(2): 730–745.
- Bruno, D.-D., Bernier, F., Doyon, M., Massé, B., & Duchesne, A. 2008. *Étude Sur Les Modalités et Les Impacts Du Nouveau Mode de Mise En Marché Des Bois*. Rapport final: pp.1-138. Canada.
- Buongiorno, J., & Gilless, J.-K. 2003. Decision Methods For Forest Resource Management, 1st Edition. *Amsterdam: Academic Press: 439*.

- Chen, Jian, Senior Member, IEEE, Xilong Chen, & Xiping Song. 2002. Bidder's Strategy Under Group-Buying Auction on the Internet. *IEEE Transactions On Systems, Man And ON Cybernetics-Part A: Systems And Humans* 32(6): 680–690.
- Cook, D.-J., Sackett, D.-L., & Spitzer, W.-O. 1995. Methodologic Guidelines for Systematic Reviews of Randomized Control Trials in Health Care from the Postdam Consultation on Analysis. *Epidemiol* 48(1): 167–171.
- Costa, S., Préget, R. 2004. *Étude de L'adéquation de L'offre En Bois de l'Office National des Forêts À La Demande de Ses Acheteurs* : 112. <http://prodinra.inra.fr/record/149406>.
- Côté, M. 2003. Dictionnaire De La Foresterie Québec. In *Ordre Des Ingénieurs Forestiers Du Québec*, 748.
- Cramton, P., Shoham, Y., & Steinberg, R. 2005. *Combinatorial Auctions*. MIT Press. Boston: pp.11-30.
- D'Amours, S., Frayret, J.-M., Gaudreault, J., LeBel, L., & Martel, A. 2009. Chaîne de Création de Valeur. In *Manuel de Foresterie*. 2ème éd. Éditions Multi Mondes. Québec: *Ordre des ingénieurs forestiers du Québec* : pp.1307- 1323.
- D'Amours, S., Rönqvist, M., & Weintraub, A. 2007. Using Operations Research for Supply Chain Planning in the Forest Products Industry: pp.1-131.
- Easley, D., & Kleinberg, J. 2010. Chapter 9 Auctions. In *Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World*. Cambridge University Press: pp. 249–273.
- Elyakime, B., Laffont, J.-J., Loisel, P. & Vuong, Q. 1994. First-Price Sealed-Bid Auctions With Secret Reservation Prices. *Annales d'Économie et de Statistique*, 34 : pp.115–141.
- Elyakime, B., & Loisel, P. 2005. An Optimal Standing Timber Auction. *Journal of Forest Economics* 11(2): 107–200.
- Farnoush, F., Beaudry, C., Frayret, J.-M., & LeBel, L. 2013. Combinatorial Auction for Timber Allocation and Delivery Coordination. *Bibliothèque et Archives nationales du Québec*. 25.
- Farnoush, F., Frayret, J.-M., LeBel, L., & Beaudry, C. 2013. Multiple-Round Timber Auction Design and Simulation. *International Journal of Production Economics* 146(1): p.129–141.
- Gaston, R.-N. 2005. Les Stratégies d'approvisionnement. *Organisme de Recherche, Information, Etudes et Conseils*. www.logistiqueconseil.org. (Consulté, le 27 février

2014).

- Haile, Philip A. 2001. Auctions with Resale Markets: An Application to U.S. Forest Service Timber Sales. *The American of Economic Review* 91(3): 399–427.
- Healy, A. 2014. Government Shelves Plan to Sell Coillte Harvesting Rights. *The Irish Times*. <http://www.irishtimes.com>. (Consulté, le 20 mars 2014).
- Hill, Jonathan B., & Shneyerov, A. 2013. Are There Common Values in First-Price Auctions? A Tail-Index Nonparametric Test. *Journal of Econometrics* 174: 144–164.
- Hsieh, Fu-shiung. 2010. Supporting Decision in Group Buying Based on Combinatorial Reverse Auction. *Proceedings of the International Conference on Information Society, Londers*: pp.363–369.
- Hsieh, Fu-Shiung, & Jim-Bon Lin. 2012. Assessing the Benefits of Group-Buying-Based Combinatorial Reverse Auctions. *Electronic Commerce Research and Applications* 11(4): 407– 419.
- Jacobsen, B. 1999. Auctions Without Competition: The Case of Timber Sales in the Murmansk Region. *Interim Report IR-99-072*: 1– 17.
- Kauffman, Robert J., Hsiangchu Lai, & Chao-Tsung Ho. 2010. Incentive Mechanisms, Fairness and Participation in Online Group-Buying Auctions. *Electronic Commerce Research and Applications* 9(3): pp. 249–262.
- Keskinocak, Pinar, & Seçil Savasaneril. 2008. Collaborative Procurement Among Competing Buyers. *Naval Research Logistics DOI* 55(6): pp. 516–540.
- Klemperer, Paul. 2002. What Really Matters in Auction Design. *Journal of Economic Perspectives* 16: 169–189.
- . 2004. Auctions: Theory and Practice. *Princeton University Press and copyrighted by Princeton University Press*: 264.
- Kraljic, Peter. 1983. Purchasing Must Become Supply Management a Strategy for Supply. *Harvard Business Review*, Vol. 61, No. 5 (How managers can guard against materials disruptions by formulating a strategy for supply): pp. 109–117.
- Krishna, V. 2002. The Center For The Study: An Empirical Perspective on Auctions. *Journal of Economic Litterature* 3(1): 2–17.
- Lange, Andreas, John A. List, & Michael K. Price. 2011. Auctions with Resale When Private Values Are Uncertain: Evidence from the Lab and Field. *International Journal of Industrial Organization* 29(1): 54–64.

- Li, Huagang, & Guofu Tan. 2000. Hidden Reserve Prices with Risk-Averse Bidders. *Journal of Economic Literature* 48 (1): 1–31.
- Li, Tong, & Isabelle Perrigne. 2003. Timber Sale Auctions with Random Reserve Prices. *The Review of Economics and Statistics* 85(1): 189–200.
- Li, Tong, & Xiaoyong Zheng. 2012. Information Acquisition And/or Bid Preparation: A Structural Analysis of Entry and Bidding in Timber Sale Auctions. *Journal of Econometrics* 168(1): 29–46.
- Manitoba Conservation. 2014. <https://www.gov.mb.ca/conservation/forestry/timber-admin/auctions.html#2012results> (Consulté, le 20 février 2014).
- Marty, Gérard. 2010. Des Enchères de Bois Public aux Contrats d’approvisionnement. *Économie Rurale* 318-319 (juillet-octobre 2010): pp.111–122.
- Marty, Gérard, & Raphaële Préget. 2010. A Socio-Economic Analysis of French Public Timber Sales. *Journal of Sustainable Forestry* 29(1): 15–49.
- McAfee, Preston, & John McMillan. 1987. Auctions and Bidding. *Journal of Economic Literature* XXV: 699–738.
- Moore, Nancy Y., Laura H. Baldwin, Frank Camm, & Cynthia R Cook. 2002. Implementing Best Purchasing and Supply Management Practices: Lessons from Innovative Commercial Firms. *Prepared for the United States Air Force. RAND Corpo. United States: 207.*
- Moore, Nancy Y., Grammich Clifford, & Robert Bickel. 2007. Developing Tailored Supply Strategies. *Prepared for the United States Air Force. RAND Corop. United States: 124p.*
- Niquidet, Kurt, & G.Cornelis van Kooten. 2006. Transaction Evidence Appraisal: Competition in British Columbia’s Stumpage Markets. *Forest Science* 52(4): 451–459.
- Oktay, Tas, Guran Celal Barkan, & Guran Aysun. 2012. Determination of the Optimal Strategy in First Prize Private Value Auctions : A Theoretical and Experimental Approach. *International Journal of Business and Social Science* 3(11): 209–220.
- Porter, M.E. 1982. *Choix Stratégiques et Concurrence: Techniques D’analyse Des Secteurs et de La Concurrence Dans L’industrie. Economica. Paris.122.*
- Préget, R., & Waelbroeck, P. 2012. What is the Cost of low participation in French Timber Auctions? *Applied Economics* 44(11): 1337–1346.
- Price, Michael K. 2008. Using the Spatial Distribution of Bidders To Detect Collusion in

- the Marketplace: Evidence From Timber Auctions. *Journal of Regional Science* 48(2): 399–417.
- Reiffenstein, Tim, & Roger Hayter. 2006. Domestic Timber Auctions and Flexibly Specialized Forestry in Japan. *Canadian Geographer / Le Géographe canadien* 50(4): 503–525.
- Renge, G.-R. 2005. Commodity Sourcing Strategies: Processes, Best Practices, and Defense Initiatives. *Journal of Contract Management*: 7–20.
- Saphores, J.-D., Vincent, J.-R. & Marochko, V. 2006. Detecting Collusion In Timber Auctions: An Application To Romania. *World Bank Policy Research Working Paper 4105*: pp.1–58.
- Shapiro, J.-F. 2007. Modeling the Supply Chain. 2ème éd. Volume 2 de Duxbury applied series. *Thomson Education Higher. Paris*: 618p.
- Song, Biao, Mohammad Mehedi Hassan, & Eui-Nam Huh. 2009. A Novel Cloud Market Infrastructure for Trading Service. *2009 International Conference on Computational Science and Its Applications*: pp.44–50.
- Stadtler, H. 2005. Supply Chain Management and Advanced Planning- Basics, Overview and Challenges. *European Journal of Operational Research* 163(3): 575–588.
- Stanley, E.-F. 2000. The Supply Management Environment. Ism Knowledge Series, Volume 2 de NAPM Supply Management Knowledge Series. *National Association of purchasing Management*: 281p.
- Tatoutchoup, Francis Didier. 2013. Forestry Auctions with Interdependent Values : Evidence from Timber Auctions. *Journal of Economics, Department of Economics, Glendon York University* : 8–22.
- Tranfield, D., Denyer, D. & Smart, P. 2003. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *Brit. J. Manage.* 14(3): 207–222.
- Uusitalo, Jori. 2005. A Framework for CTL Method-Based Wood Procurement Logistics. *International Journal of Forest Engineering* 16(2): 37–46.
- VicForests.com. 2014. <http://www.vicforests.com>. (Consulté, le 05 mars 2014).
- Wang, Shanshan, & Heqing Song. 2008. A Multi-Agent Based Combinational Auction Model For Collaborative e-Procurement. *Proceedings of the 2008 IEEE IEEM*: pp.1108–1112.
- Wang, Zhe, & Zhi-yong Zhang. 2010. The Optimal Ordering Strategy under the GBA in

more than three Retailers. *18th International Conferance on Industrail Engineering and Engineering Management, China, 3-5 septembre: pp.355–359.*

Xiaoqing, J. & Xie, J. 2011. Group Buying: A New Mechanism for Selling Through Social Interactions. *Management Science* 57(8): 1354–1372.

Zheng, Xiaoyong. 2009. Quantifying the Cost of Excess Market Thickness in Timber Sale Auctions. *International Journal of Industrial Organization* 27(5): 553–566.

ANNEXE A : Caractéristiques des différents systèmes d'enchères de bois étudiés

Cet Annexe présente les principales caractéristiques des différents systèmes d'enchères de bois étudiés

Tableau 13: Principales caractéristiques des différents systèmes d'enchères de bois étudiés

	<i>États-Unis</i>	<i>France</i>	<i>Roumanie</i>	<i>Victoria (Australie)</i>	<i>Colombie- Britannique (Canada)</i>	<i>Manitoba (Canada)</i>	<i>Québec (Canada)</i>	<i>Irlande</i>	<i>Russie</i>	<i>Japon</i>
Type de gouvernance	Organisation ministérielle ou fédérale	Organisation gouvernementale	Agence gouvernementale	Société d'État	Division ministérielle	Division ministérielle	Division ministérielle	Société gouvernementale	Organisation fédérale	Corporation gouvernementale
Organisme de gestion de l'enchère	<i>Department of Natural Resources</i> ou <i>US Forest Service</i>	ONF	<i>National Forest Administration</i> ou <i>NFA</i>	VicForests	BCTS	Manitoba Conservation	Bureau Mise en Marché du Bois	Coillte	Service Fédéral des Forêts FFS	<i>Nice Corporation</i>
Format d'enchère utilisée	Enchère scellée et enchère ouverte	Enchère scellée et enchère anglaise	Enchère scellée	Enchère électronique (simultanée à multiples tours)	Enchère scellée au premier prix	Enchère scellée	Enchère électronique	Enchère électronique	Enchère compétitive et enchère combinée	Enchère scellée et ascendante
Fréquence d'enchère	Aléatoire	En continu	2 fois par année	En continu	En continu	Ventes trimestrielles	3 fois par année	Bimensuelle	ND	2 à 6 selon la région
% de bois publics dans l'enchère	ND	ND	100%	100%	20%	30%	25%	100%	ND	ND
Type de bois mis à l'enchère	Bois sur pied	Bois sur pied et bois récoltés	Bois sur pied	Bois récoltés livrés à l'usine	Bois sur pied	Bois sur pied	Bois sur pied, bois récoltés et bois livrés	Bois sur pied et bois récoltés	Bois sur pied	Bois de forêts privées et billes de bois importées
Mécanisme de transposition de prix	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non

ANNEXE B : Évaluations personnelles- soumissions (scénario2)

Cet Annexe présente la relation entre les évaluations personnelles des joueurs et les soumissions qui leur sont associées pour un second scénario testé.

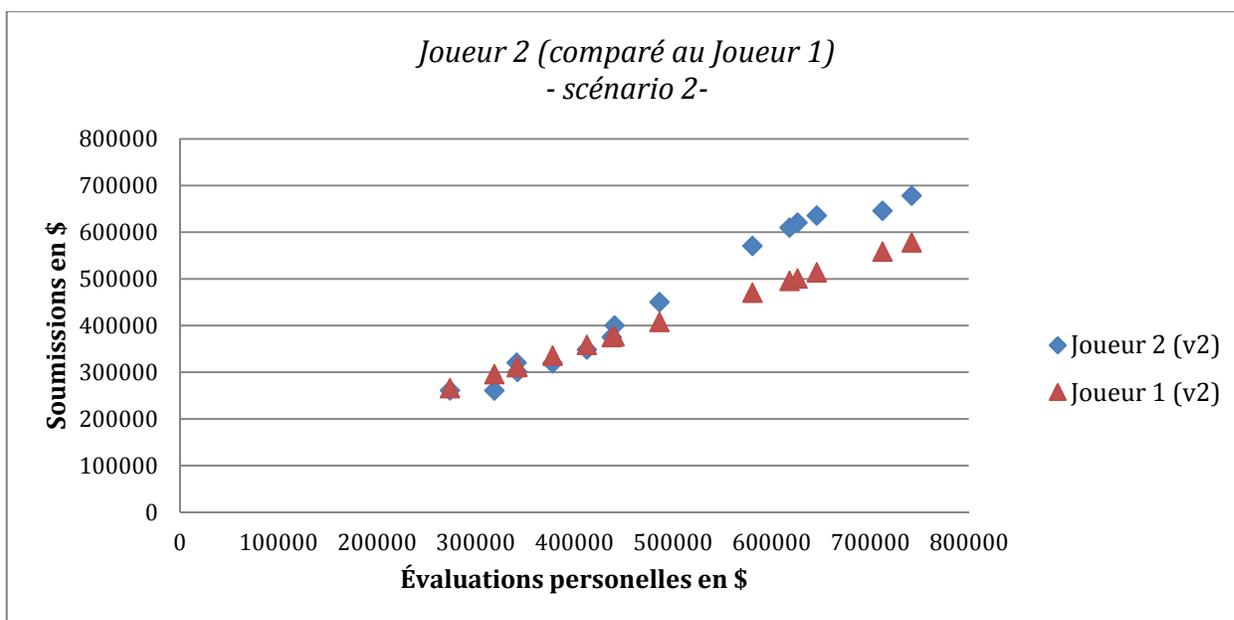


Figure 42: Soumissions de Joueur 1 en utilisant les évaluations personnelles v₂ de Joueur 2

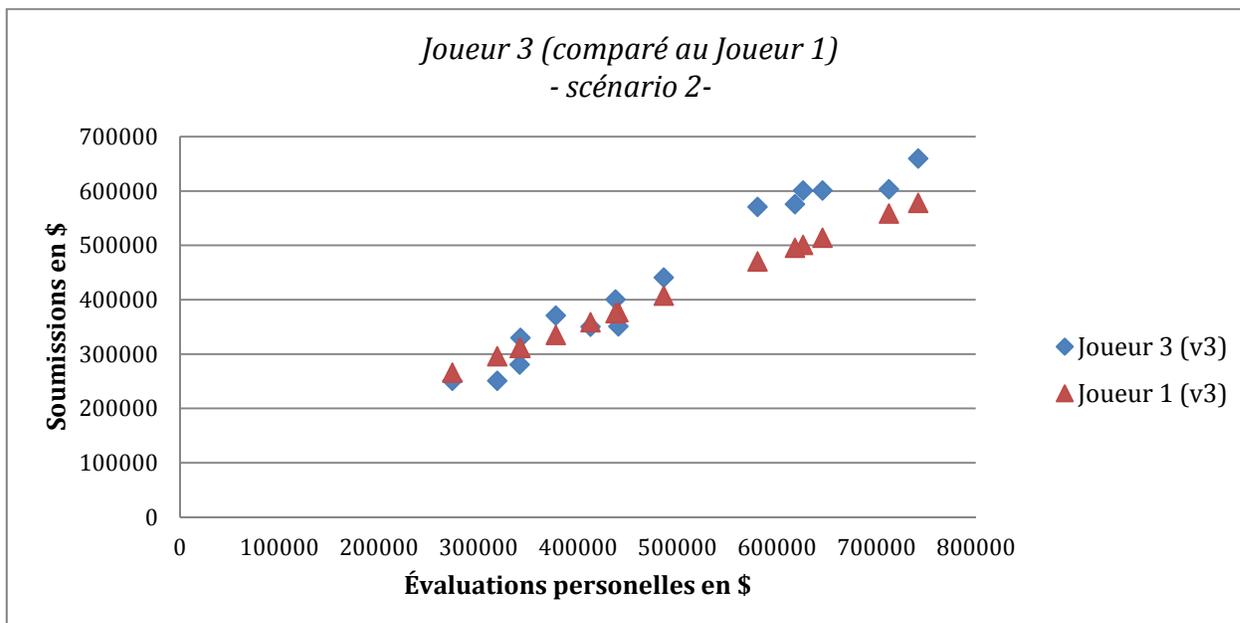


Figure 43: Soumissions de Joueur 1 en utilisant les évaluations personnelles v₃ de Joueur 3

ANNEXE C : Données des secteurs forestiers dans la vente aux enchères

Cet Annexe présente les données utilisées sur les secteurs forestiers dans la vente aux enchères:

Source	Essences	Répartition d'essences en %	Volume en m ³
Source 3	Sapin	30 %	9495
	Épinettes	50 %	15825
	Pin gris	10 %	3165
	Mélèzes	10 %	3165
Source 4	Sapin	20 %	4990
	Épinettes	70 %	17465
	Pin gris	5 %	1248
	Mélèzes	5 %	1248
Source 5	Sapin	20 %	9820
	Épinettes	60 %	29460
	Pin gris	10 %	4910
	Mélèzes	10 %	4910
Source 6	Sapin	20 %	17000
	Épinettes	45 %	38250
	Pin gris	20 %	17000
	Mélèzes	15 %	12750
Source 7	Sapin	20 %	16330
	Épinettes	20%	16330
	Pin gris	40 %	32660
	Mélèzes	20 %	16330

ANNEXE D : Calcul de la soumission

L'Annexe D présente le calcul de la soumission pour les secteurs forestiers sélectionnés dans le modèle de planification de base pour un nombre variable de joueurs allant de 3 jusqu'à 15.

<i>Nombre de joueurs</i>	<i>Soumissions en \$</i>												
	<i>N=3</i>	<i>N=4</i>	<i>N=5</i>	<i>N=6</i>	<i>N=7</i>	<i>N=8</i>	<i>N=9</i>	<i>N=10</i>	<i>N=11</i>	<i>N=12</i>	<i>N=13</i>	<i>N=14</i>	<i>N=15</i>
<i>Source</i>													
<i>Source3</i>	143941	146934	148730	149927	150782	151423	151922	152321	152647	152919	153150	153347	153518
<i>Source4</i>	257757	258726	259308	259696	259973	260181	260342	260472	260577	260665	260740	260804	260859
<i>Source5</i>	701657	719490	730189	737322	742417	746238	749210	751587	753533	755154	756526	757701	758720
<i>Source6</i>	900925	903541	905110	906157	906904	907465	907900	908249	908535	908772	908974	909146	909295
<i>Total soumission</i>	<u>2004281</u>	<u>2028691</u>	<u>2043337</u>	<u>2053101</u>	<u>2060075</u>	<u>2065306</u>	<u>2069374</u>	<u>2072629</u>	<u>2075292</u>	<u>2077511</u>	<u>2079389</u>	<u>2080998</u>	<u>2082393</u>