

CIGI QUALITA MOSIM 2023

Étude des opportunités d'optimisation de la planification d'un réseau d'approvisionnement forestier faite par un intégrateur-système

PEDRO EBOLI¹, LUC LABEL², LUIS ANTONIO DE SANTA-EULALIA³

¹Université Laval, Département des sciences du bois et de la forêt
2405 Rue de la Terrasse, Québec (QC) G1V 0A6, Canada
pedro.eboli-ribeiro-pecanha.1@ulaval.ca

²Université Laval, Département des sciences du bois et de la forêt
2405 Rue de la Terrasse, Québec (QC), G1V 0A6, Canada
luc.label@sbf.ulaval.ca

³Université de Sherbrooke, Département systèmes d'information et méthodes quantitatives de gestion
2500 boulevard de l'Université, Sherbrooke (QC), J1K 2R1, Canada
l.santa-eulalia@usherbrooke.ca

Résumé – L'ampleur de la superficie et l'hétérogénéité des forêts permettent l'approvisionnement en matière première d'une industrie forestière diversifiée, capable de traiter plusieurs essences. Comme les usines de transformation peuvent avoir des besoins différents pour leur approvisionnement et qu'elles partagent souvent un même secteur de récolte, la coordination des activités devient une nécessité. Un tel contexte impose des défis concernant l'arrimage entre la planification forestière et l'harmonisation des activités d'approvisionnement en bois des usines de transformation. Un moyen de favoriser la coordination est par la mise en place d'un intégrateur-système, une tierce partie responsable pour la réalisation d'une planification collaborative, équitable et neutre. Un intégrateur-système contribue à la coordination des fournisseurs de services, tout en équilibrant les besoins des différentes parties prenantes. Toutefois, le potentiel réel que peut offrir le concept d'intégrateur-système demeure mal exploré par la littérature scientifique, notamment dans le contexte de la foresterie et des ressources naturelles. De plus, l'usage des outils avancés de planification reste sous-exploré dans ce contexte. L'objectif de cette étude est de comprendre les fonctions exécutées par un intégrateur-système lors de la planification des approvisionnements d'un réseau forestier multiacteur et multiproduit et d'identifier les activités de ce processus qui pourraient être bonifiées par l'application de l'optimisation mathématique.

Abstract – In Québec, the vastness the heterogeneity of the forests allows the supply of raw materials for a diversified forest industry, capable of processing several species. Although processing plants may have different needs for their supply, they still can and often do share the same harvesting area, and so the coordination of activities becomes a necessity having to take into account the activities of each. Such a context imposes challenges concerning the link between forest planning and the harmonization of the needs of wood supply activities of processing plants, as well as the coordination of forest operations. One way to promote coordinated forest planning is through the establishment of a system integrator, a third party responsible for carrying out collaborative, equitable and neutral planning. A system integrator helps coordinate service providers, while balancing the needs of these different stakeholders. However, the real potential that the concept of system integrator can offer remains largely unexplored by the scientific literature, particularly in the context of forestry and natural resources. The objective of this study is to understand the functions performed by a forest management company, which acts as a system integrator, during the collaborative planning of the supplies of a multi-stakeholder forest network and multi-products, and to identify the activity points of this process which could be improved by the application of mathematical optimization.

Mots clés – intégrateur-système, planification collaborative, chaîne d'approvisionnement forestière

Keywords – system-integrator, collaborative planning, forest supply chain

1 INTRODUCTION

La superficie productive forestière et l'hétérogénéité des forêts permettent l'approvisionnement en matière ligneuse de nombreuses essences, provenant directement ou indirectement des forêts, pour les activités de plusieurs types d'usines de transformation de produits forestiers, dont les usines de sciage d'essences résineuses et feuillues, de pâtes et papiers, de placages et contreplaqués, de panneaux agglomérés, de bois

tournés et façonnés, de cogénération et produits énergétiques. Puisque ces usines sont à la recherche d'une matière première ayant des caractéristiques précises au moindre coût, il arrive souvent qu'elles doivent partager les mêmes secteurs de récolte. Elles peuvent alors compétitionner les unes avec les autres pour la matière ligneuse [Beaudoin et al., 2010]. De plus, même si les usines ont différents besoins en approvisionnement, elles peuvent aussi partager un même secteur de récolte et ainsi devoir tenir compte des activités de chacune [Mosconi, 2014].

Ce contexte multiusine impose donc des défis concernant l'arrimage entre la planification forestière et l'harmonisation des besoins en approvisionnement en bois des usines de transformation, ainsi que la coordination des opérations sur le terrain.

La planification forestière doit considérer les contraintes et les objectifs d'affaires de toutes les usines de transformation du bois qui s'approvisionnent sur un même territoire ainsi que ceux des entrepreneurs forestiers, qui réalisent l'exécution des travaux de récolte et transport de la matière ligneuse. De cette manière, les planificateurs responsables de l'approvisionnement des usines doivent travailler en étroite collaboration les uns avec les autres, mais aussi avec leurs fournisseurs, principalement les entrepreneurs forestiers dans le but de favoriser la faisabilité, l'exécution et l'adéquation des plans au niveau opérationnel. La coordination de tous les intervenants s'avère importante pour minimiser les coûts des opérations forestières et optimiser l'utilisation des matières premières [Mosconi, 2014].

Les usines désirent la meilleure matière ligneuse possible puisque sa qualité influence la performance de la transformation en produits finaux [Beaudoin et al. 2010]. Dans un contexte multiacteurs et multiproduits, l'intégration au niveau de la planification entre les usines qui partagent un même territoire d'approvisionnement et leur coordination à l'échelle des opérations de récolte et de transport peut favoriser la performance du secteur industriel forestier [Alayet et al. 2018]. En ce qui concerne la planification forestière, un niveau plus élevé d'intégration et de collaboration favorise l'efficacité du processus, contribue à assurer une culture collaborative, soutient la confiance et améliore le partage d'information en renforçant l'interopérabilité entre les divers acteurs [Morin, 2019]. Par rapport aux opérations de récolte et de transport, la collaboration entre les entreprises peut favoriser l'atteinte des demandes des usines en réduisant les déplacements des bois et les délais de livraison [François et al. 2017].

Un moyen de mettre en œuvre la planification collaborative dans le contexte de la gestion des forêts est par le concept d'intégrateur-système. Morin [2019] a étudié l'application de ce concept dans le domaine forestier. Les contributions d'un intégrateur-système sont associées à la planification forestière efficace, à l'équité lors de la prise de décision, à la confiance et à la symétrie du pouvoir entre les différents acteurs et la gestion du partage d'information entre les usines de transformation et le système ministériel.

Toutefois, le potentiel réel que peut offrir le concept d'intégrateur-système demeure mal exploré par la littérature scientifique, notamment dans le contexte de la foresterie et des ressources naturelles. De plus, l'usage des outils avancés de planification, notamment l'optimisation mathématique, reste sous-exploré dans ce contexte. Le but de cette étude est de comprendre les fonctions exécutées par un intégrateur-système lors de la planification collaborative des approvisionnements d'un réseau forestier multiacteurs et multiproduits et d'identifier les points de ce processus qui pourraient être bonifiés par des concepts issus de la recherche opérationnelle. Pour atteindre ces objectifs, une étude de cas a été réalisée sur une entreprise de gestion forestière qui agit à titre d'intégrateur-système. L'article présente d'abord une revue de littérature sur la planification d'un réseau d'approvisionnement forestier, la planification collaborative, le concept intégrateur-système et les approches processus pour soutenir la planification forestière. Ensuite, la méthodologie est décrite. La section 4 présente les résultats sous forme d'une cartographie de processus. Les opportunités de bonifier la planification exécutée par une tierce partie de type intégrateur-système par des moyens issus de la recherche

opérationnelle sont discutées. La conclusion présentée à la section 5 synthétise les analyses réalisées.

2 REVUE DE LITTÉRATURE

La revue de littérature porte sur trois éléments principaux: 1. la planification d'un réseau d'approvisionnement forestier, 2. la planification collaborative, 3. le concept intégrateur-système, et 4. les approches processus pour soutenir la planification forestière.

2.1 Planification d'un réseau d'approvisionnement forestier

La planification est définie comme une approche de gestion mise en place par une organisation dans le but de déterminer des objectifs, de préciser une stratégie et d'élaborer des plans pour coordonner les actions à réaliser pour parvenir aux résultats attendus [Robbins et Coulter, 2021]. La planification soutient la prise de décision par le gestionnaire, qui est capable d'analyser les divers scénarios conçus et de choisir celui qu'il estime le plus avantageux [Robbins et Coulter, 2021]. La planification forestière contribue à la prise des décisions concernant la gestion des ressources naturelles et permet aux gestionnaires de comparer différentes approches d'aménagement forestier, tout en prenant compte de leurs impacts économiques, environnementaux et sociaux. Par conséquent, la planification forestière favorise la compréhension des risques et l'incertitude associées à la mise en œuvre de différentes activités dans la forêt [Bettinger et al. 2017]. Les décisions à prendre ou à exécuter pour chaque processus, les acteurs responsables, l'horizon de planification, la fréquence de mise à jour et les intrants requis et les extrants qui en résultent sont les constituants les plus importants d'un système de planification [Audy et al., 2012].

La planification forestière comprend aussi le portrait du territoire en compilant les données disponibles, la production des projections pour les diverses options d'aménagement, l'analyse des différents résultats possibles et la recommandation d'un plan d'action [Bettinger et al. 2017]. En général, le système ministériel est le responsable d'encadrer l'aménagement forestier, tout en produisant l'ensemble des règlements et des normes à respecter par les différents acteurs présents dans un territoire donné. Dans certains cas, tel que dans la province du Québec, Canada, le système ministériel est aussi le responsable de la planification forestière à long et à moyen terme en forêt publique. Plus précisément, c'est le Ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) qui décrit le territoire et la forêt pour les différentes unités d'aménagement forestier, définit les objectifs et la stratégie d'aménagement, établit les possibilités forestières, identifie les secteurs d'intervention potentiels et les infrastructures à améliorer ou à construire, définit les prescriptions sylvicoles associées aux secteurs d'intervention potentiels et réalise la consultation et l'harmonisation forestière. L'un des livrables du processus de planification fait chaque année par le MRNF est la banque de secteurs d'intervention finaux, qui représente environ 300 % des besoins annuels en volume de bois pour les usines qui s'approvisionnent sur une unité d'aménagement forestier donnée. C'est à partir de cette banque de secteurs d'intervention que les usines de transformation font la sélection des secteurs de récolte et réalisent la planification de leurs approvisionnements en bois en forêt publique sur l'horizon annuel [Laliberté, 2021].

La planification délimitent l'ensemble de données qui indiquent où, quand et comment les différentes activités seront menées dans une unité ou un groupe d'unités d'affaires tandis que le plan d'approvisionnement peut être défini comme une série de livraisons planifiées. Les organisations utilisent une

planification en cascade qui inclue le plan stratégique, le plan tactique et le plan opérationnel. Ces paliers diffèrent les uns des autres en ce qui concerne l'horizon temporel : le plan stratégique envisage les décisions à mener sur le long terme, le plan tactique considère les actions pour le moyen terme et le plan opérationnel traite des interventions sur le court terme [Morin, 2019]. Les décisions stratégiques servent de directives pour la planification au niveau tactique aussi bien que les décisions tactiques servent de directives pour la planification au niveau opérationnelle [Meyr et al., 2015].

Selon Uusitalo [2010], le plan d'approvisionnement d'une usine comprend sa demande annuelle en bois et la disponibilité des bois dans les multiples secteurs de récolte possibles. Le plan annuel contient les informations concernant le volume des différentes essences qui seront délivrés à l'usine ainsi que la localisation des secteurs de récolte qui fourniront ces volumes. L'achat de bois et les échanges de bois entre les usines doivent aussi être comptabilisés. La planification à une échelle opérationnelle considère les activités de récolte et de transport, les niveaux d'inventaire en bord de route, le calendrier des livraisons, les activités de transformation des lignes de productions et les niveaux d'inventaire dans l'usine.

2.2 *Planification collaborative*

La collaboration dans les chaînes d'approvisionnement est définie par Soosay et Hyland [2015] comme un concept multientreprise qui établit une stratégie à long terme, fondée sur la confiance, et rend possible la planification et la prise de décision en commun. Les organisations qui agissent en collaboration sont capables de déterminer des objectifs collectifs, de rechercher des solutions optimales pour les sujets stratégiques à long terme et opérationnels à court terme et de partager les ressources, les bénéfices et le risque. Les relations et la reconnaissance des capacités, des ressources et des processus complémentaires entre les différentes organisations qui composent une chaîne d'approvisionnement sont favorisées par la collaboration. Elle permet l'identification et l'harmonisation des complémentarités entre différentes organisations qui font partie d'une chaîne d'approvisionnement. Par conséquent, la collaboration rend possible la construction des processus communs capables de générer davantage de valeur ajoutée. La collaboration permet l'augmentation de l'agilité dans le développement des produits, la flexibilité pour répondre aux besoins des clients et la réduction des coûts et des délais de livraison [Fawcett et al., 2008]. La mise en place de mécanismes comme le partage de coûts, de profits et de ressources favorisent la réduction des coûts opérationnels, les économies d'échelle, l'utilisation des capacités, la distribution des bénéfices, la diminution de l'incertitude, la réponse aux variations du marché et l'élimination des comportements opportunistes [Graça et Camarinha-Matos, 2017 ; Lehoux et al., 2014]. Même si les organisations ont des objectifs d'affaires indépendants, leurs décisions sont mutuellement interdépendantes en raison des relations entre les participants de la chaîne. La conciliation des objectifs devient alors un enjeu considérable et le manque d'intégration organisationnelle mène à une mauvaise coordination de décisions de production et distribution. Cette inefficacité peut provoquer des retards dans les livraisons, des décisions d'inventaire imprécises, des mauvaises allocations des capacités et utilisations des ressources et des opportunités d'affaires ratées [Frayret, 2009]. Les mesures adoptées dans les chaînes d'approvisionnement sont réparties entre des entreprises indépendantes qui ont leurs propres enjeux liés à la gestion des opérations, des stratégies et des processus [Frayret, 2009]. Selon Kilger et al. [2015], la

coordination des flux au sein d'une chaîne d'approvisionnement nécessite l'adaptation des plans et de la prise de décision des participants lors de différents niveaux d'une hiérarchie de planification. La planification est définie comme l'exercice de choisir, séquencer et évaluer les activités à être réalisées par une organisation en mesure de favoriser l'amélioration de la performance opérationnelle et de la productivité. La coordination est le procédé utilisé pour l'alignement des plans de plusieurs organisations.

La planification collaborative est donc définie comme un processus de prise de décision collective qui requiert la volonté des organisations de coopérer et de contribuer à l'alignement des différents plans dans le but d'élaborer un plan qui sera accepté par les parties prenantes [Kilger et al., 2015]. Selon Morin [2019], l'un des enjeux importants dans l'industrie forestière au Québec, Canada, est la nécessité de coordination du flux de matière première de différentes usines qui s'approvisionnent sur un même territoire, imposée par le contexte biophysique et par la réglementation actuelle. Les planificateurs chargés de l'approvisionnement de chaque usine doivent concilier leurs plans avec les plans d'approvisionnement des autres usines, tout en considérant les coûts de récolte et de transport, les niveaux d'inventaires et les échéanciers convenus par chaque organisation.

Plusieurs auteurs ont étudié l'application des notions d'intégration et de collaboration dans le domaine forestier, dans différents pays. Parmi eux, Beaudoin et al. [2010] ont présenté une approche de planification collaborative des approvisionnements dans un contexte d'interdépendance entre les usines de transformation du bois et de partage des territoires d'approvisionnement au Canada. Par l'utilisation de modèles d'optimisation mathématique en programmation linéaire mixte, les auteurs ont déterminé les blocs à récolter, tout en considérant la demande des usines, les essences et leurs volumes disponibles, les capacités de récolte et de transport et leurs coûts, entre autres facteurs. De cette manière, les auteurs ont démontré que l'approche de planification collaborative centralisée génère plus de profits locaux et globaux pour la chaîne d'approvisionnement, comparée à l'approche de planification décentralisée en place. Erlandsson [2013] a présenté une étude de cas sur le processus de planification des activités de récolte et la gestion des entrepreneurs forestiers faite par deux associations de propriétaires forestiers en Suède. Les associations, en tant que mécanisme d'intégration, favorise les ententes à long terme entre les entrepreneurs forestiers et les donateurs d'ouvrage, ce qui aussi favorise les ajustements aux opérations de récolte dans le but de répondre à l'incertitude de la demande à court terme. Lehoux et al. [2014] ont étudié la planification d'une chaîne d'approvisionnement forestière composée par une industrie de pâtes et papier au Canada et l'un de ses grossistes. Par l'utilisation de modèles en programmation linéaire mixte, les auteurs ont défini la quantité optimale de produits à produire dans le but d'atteindre la demande et ont modélisé différents mécanismes de coordination entre ces deux parties prenantes, tout en considérant les capacités de production, de transport et de stockage et leurs coûts respectifs, entre autres facteurs. De cette manière, ils ont démontré que l'approche de planification collaborative était capable de réduire les coûts opérationnels, améliorer l'utilisation de capacités ainsi qu'augmenter les profits globaux générés. François et al. [2017] ont présenté une étude de cas sur la collaboration entre deux entreprises de transport de bois en France. Les auteurs ont simulé différents degrés de collaboration entre ces deux parties prenantes, tout en déterminant la quantité de bois à transporter et en considérant les capacités, les durées et les coûts de

transport. De cette façon, ils ont démontré que la pleine collaboration permet l'atteinte de demandes des clients tout en minimisant le déplacement global de bois et la durée totale des activités de transport ainsi qu'en équilibrant la capacité des camions et des conducteurs. Sarrazin et al. [2018] ont étudié la mise en place des centres logistiques capables de recevoir la matière ligneuse provenant de différents fournisseurs et l'envoyer à différentes usines de transformation du bois. Par l'utilisation de l'optimisation mathématique, les auteurs ont modélisé différentes localisations pour le centre logistique ainsi que leurs respectives capacités, distances de transport entre le centre et les usines, coûts d'inventaire et de triage, entre autres facteurs. De cette façon, ils ont démontré que cette approche d'intégration logistique est en mesure d'assurer une allocation plus efficace de la matière ligneuse et de réduire les coûts de triage et de transport. Mobtaker et al. [2018] ont présenté un outil de planification afin d'optimiser la sélection des aires de coupe et la récolte de peuplements forestiers épars par la réduction de la dispersion spatiale des groupements des blocs de récolte, tout en considérant les distances entre les aires de coupe et les volumes de bois disponibles. L'approche a été testée dans un cas réel au Québec, Canada, et les demandes d'un ensemble d'usines de transformation présentes dans la région ont été considérées dans le modèle mathématique, ainsi que le réseau routier disponible et la capacité des équipes de récolte. La méthode développée par les auteurs est en mesure de sélectionner les aires de coupe à être récoltées sur l'horizon annuel tout en minimisant les déplacements des machines, ce qui résulte dans la réduction des coûts d'approvisionnement pour l'ensemble d'usines.

Ces auteurs ont identifié et quantifié le potentiel qu'un niveau plus élevé d'intégration et de collaboration apporterait dans les chaînes d'approvisionnement forestières. Toutefois, la manière de mettre en place un mécanisme d'intégration, la façon de la structurer et les particularités qui devront être intégrées dans les outils de planification d'un tel mécanisme restent encore à être précisées.

2.3 Concept « Intégrateur-système »

Un moyen de mettre en œuvre la planification collaborative dans le contexte de la gestion forestière est le concept « Intégrateur-système », un concept qui a été exploré dans la littérature ainsi qu'appliqué en différents secteurs industriels, dont, le secteur militaire, le secteur automobile, le secteur aérospatial, le secteur de transport, le secteur de télécommunications et le secteur de construction de bâtiments [Morin, 2019 ; Davies et al., 2014].

Selon Davies et al. [2014], l'intégrateur-système est défini comme une organisation qui réalise le design global efficace d'un système de production, tout en intégrant les composants et les services fournis par des fournisseurs externes et en équilibrant tous ces différents acteurs dans l'ensemble du système. L'intégrateur-système est positionné de façon à assurer le fonctionnement du système, surveiller les changements qui s'y passent et promouvoir le développement de nouvelles connaissances. Par conséquent, même si le rôle d'intégrateur-système peut être joué par une entreprise engagée par un organisme ou un ensemble d'organismes, un intégrateur-système demeure plus qu'un simple prestataire de services logistiques ou assembleur de composants.

L'intégrateur-système est en mesure d'encourager la coopération entre plusieurs composants d'une chaîne d'approvisionnement par le partage d'information au sein du réseau, tout en facilitant la visualisation de ces informations par l'ensemble des parties prenantes. Il traite les interdépendances

dans le but de favoriser l'accomplissement des objectifs globaux, en priorisant l'intérêt de l'ensemble du groupe en dépit de l'intérêt individuel d'une partie du système. L'intégrateur-système est capable de favoriser la résolution de problèmes liés aux prévisions sur les inventaires, à l'utilisation des capacités, aux services aux consommateurs et à l'exécution des commandes [Davies et al., 2014].

Les travaux de Morin [2019] ont permis de définir le concept d'intégrateur-système pour le domaine forestier, en établissant les caractéristiques qu'une tierce partie de type intégrateur-système doit avoir et ses relations avec les systèmes ministériel et industriel. Les trois caractéristiques fondamentales que l'intégrateur-système doit présenter sont l'impartialité, la crédibilité et la transparence. L'impartialité fait référence à l'indépendance de l'intégrateur-système par rapport aux autres organisations. De cette façon, il est en mesure de concilier les besoins des différentes parties prenantes et promouvoir un partage équitable des ressources entre les usines de transformation, tout en considérant la bonne qualité de la matière ligneuse à un coût minimal. La crédibilité fait référence aux capacités de l'intégrateur-système à réaliser la planification forestière ainsi que son historique de travail et des individus qui œuvrent au sein de celle-ci. La transparence fait référence à la possibilité de vérification du travail de l'intégrateur-système, soit par l'ensemble d'usines, soit par le système ministériel.

De plus, ses fonctions associées à l'intégration de systèmes, à la collaboration et à la gestion du partage d'information au sein de la chaîne d'approvisionnement forestière ont été bien précisées. En ce qui concerne les fonctions d'intégration que l'intégrateur-système devrait effectuer, l'intégrateur-système est le responsable de réalisation d'une planification forestière qui soit efficace et juste, tout en considérant les besoins d'approvisionnement en bois des usines de transformation qui partagent un même territoire, tout en respectant les principes collaboratifs. Par rapport aux fonctions collaboratives d'un intégrateur-système, en raison de sa position dans la chaîne d'approvisionnement forestière, l'intégrateur-système est en mesure de contribuer à assurer et à maintenir une culture collaborative entre les parties prenantes, en promouvant l'équité de prise de décision et en soutenant l'engagement à long terme entre les partenaires. De plus, l'intégrateur-système est capable de renforcer la confiance et la symétrie du pouvoir entre les différents acteurs dans l'exercice de la planification forestière collaborative. Une autre fonction que l'intégrateur-système doit réaliser est la gestion du partage d'information entre les usines de transformation ainsi qu'entre les usines de transformation et l'État lorsque ce dernier est responsable de la gestion forestière. De cette façon, l'intégrateur-système est un nœud informationnel capable de favoriser l'interopérabilité entre les systèmes ministériel et industriel, tout en rendant le flux d'information plus efficace et le processus de planification forestière plus agile. En outre, il permet la réduction du nombre d'acteurs activement impliqués dans la planification forestière, sans les marginaliser. Malgré le potentiel que peut offrir le concept d'intégrateur-système dans une chaîne d'approvisionnement forestière, sa mise en place demeure mal explorée par la littérature scientifique. Par ailleurs, l'usage des outils avancés de planification par un intégrateur-système, notamment l'optimisation mathématique, reste sous-exploré dans ce contexte.

2.4 L'approche processus pour soutenir la planification forestière

L'approche processus est définie comme une méthode de modélisation qui facilite l'analyse de la structure et du

fonctionnement d'une organisation. Cette approche rend possible la visualisation des multiples activités mises en place par une organisation dans le but d'atteindre ses objectifs. Elle permet l'anticipation de son comportement, l'évaluation de la performance des processus réalisés et la réduction de la complexité opérationnelle. Généralement, la représentation est faite par l'utilisation de graphiques, flux de contrôle et données [Recker, 2010].

Marques et al. [2011] ont appliqué la méthode de représentation de processus BPMN pour cartographier les processus, les composants, les intervenants et les informations concernant la chaîne d'approvisionnement d'une usine de pâtes et papier au Portugal. Erlandsson [2013] a utilisé la méthode de représentation de processus IDEF0 pour modéliser le processus de planification et de gestion des entrepreneurs forestiers qui font les opérations de récolte pour deux associations de propriétaires forestiers en Suède. Gharbi [2014] a utilisé la méthode BPMN pour cartographier les activités, les différents participants, les responsabilités de chaque acteur dans le processus et leurs interactions dans une chaîne d'approvisionnement forestier au Canada, lors du processus de planification. Boukherroub et al. [2018] ont appliqué la méthode IDEF0 pour cartographier un processus de planification forestière participative au Canada, en montrant les échanges d'information entre les parties prenantes et le traitement de données utilisé par la prise des décisions.

Dans cette revue de littérature, nous avons élucidé le processus de planification en général et plus précisément selon le point de vue du domaine forestier. Nous avons aussi décrit les enjeux concernant la coordination d'une chaîne d'approvisionnement forestière au Québec, Canada, où ce projet de recherche se déroule. Par la suite, nous avons identifié des travaux qui portent sur l'application des notions d'intégration et de collaboration dans le domaine forestier par l'usage des outils avancés de planification, notamment l'optimisation mathématique. Nous avons précisé le concept intégrateur-système et son potentiel comme un moyen de mettre en œuvre la planification collaborative dans une chaîne d'approvisionnement. Nous avons aussi présenté différentes approches de modélisation de processus et ses applications sur la planification des chaînes d'approvisionnement forestières. Tous ces éléments abordés nous ont permis de mettre en évidence les enjeux concernant la planification et l'intégration dans les chaînes d'approvisionnement forestières et à mieux comprendre les différentes approches mises en œuvre dans le but de bonifier ces concepts. Par conséquent, cette revue de littérature soutient notre choix d'approche méthodologique pour accomplir les objectifs de recherche proposés : la compréhension des fonctions exécutées par un intégrateur-système lors de la planification collaborative des approvisionnements d'un réseau forestier multiacteurs et multiproduits et l'identification des points de ce processus qui pourraient être bonifiés par des concepts issus de la recherche opérationnelle. La prochaine section explique la méthodologie suivie.

3 MÉTHODOLOGIE

La recherche est réalisée dans un contexte réel de planification forestière, où une entreprise de gestion qui agit à titre d'intégrateur-système réalise la planification des approvisionnements en matière ligneuse pour un réseau d'usines de transformation du bois partageant un même territoire. La méthode par étude de cas a été choisie, puisqu'elle permet la compréhension précise d'un événement dans son contexte réel d'application [Yin, 2014]. La méthode a permis de documenter l'approche actuelle de planification.

Afin de bien documenter le processus de planification fait actuellement, l'ingénieur forestier responsable de la planification annuelle de l'entreprise de gestion forestière ainsi que l'ingénieur forestier de la coopérative chargé de la gestion des travaux de récolte et de transport sur le terrain ont été rencontrés et consultés à propos de leurs rôles lors de la confection du plan destiné à approvisionner l'ensemble des usines sur un horizon annuel. Ces personnes ont été identifiées parce qu'elles représentent la population d'experts dans le domaine de la planification forestière dans l'organisation étudiée. Lors de ces entrevues semi-dirigées (réalisées à l'aide d'un guide d'entrevues), les discussions ont porté sur les principales démarches concernant le processus de planification, les rôles et les besoins des différents intervenants. La durée moyenne de chaque entrevue est de deux heures et nous avons réalisé quatre entrevues en tout : trois entrevues avec l'ingénieur forestier responsable de la planification annuelle de l'entreprise de gestion forestière et une entrevue avec que l'ingénieur forestier de la coopérative chargé de la gestion des travaux de récolte et de transport. De plus, nous avons procédé à l'analyse des documents comprenant la planification des dernières années. La triangulation et la complémentarité fournies par les entrevues semi-dirigées et l'analyse documentaire nous a permis de faire un portrait détaillé des particularités associées au contexte industriel de la région, ainsi que la modélisation du processus de planification, tout en identifiant les unités de travail, les entités responsables et les interdépendances. La cartographie du processus de planification a été réalisée en utilisant le formalisme BPMN 2.0 et a été validée par l'ingénieur forestier responsable de la planification annuelle de l'entreprise de gestion forestière ainsi que par l'ingénieur forestier de la coopérative chargé de la gestion des travaux de récolte et de transport.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le projet de recherche s'insère dans un contexte d'application où l'entreprise de gestion forestière réalise le plan d'approvisionnement annuel en forêt publique d'une région pour un ensemble de neuf usines avec différents besoins en volume et en qualité de matière première. L'un des objectifs de l'entreprise est de minimiser les coûts de transport et de récolte globaux du réseau d'approvisionnement. Ce contexte multiusine impose des défis concernant le partage équitable du bois entre les parties prenantes, qui sont toujours en compétition pour la matière première de meilleure qualité. Cette entreprise de gestion forestière a été fondée dans le but de gérer le flux de matière ligneuse de la forêt vers les usines et coordonner les opérations de récolte. Les travaux de récolte et de transport sont conduits par une coopérative forestière présente dans la région. Cette entreprise, le seul fournisseur du réseau, est un type de mécanisme d'intégration qui regroupe plusieurs entrepreneurs forestiers qui font l'exécution du plan d'approvisionnement. Le territoire forestier de la région, situé au Québec, Canada, est composé de peuplements diversifiés et dispersés, du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. Le réseau routier de la région est bien développé, ce qui offre de multiples possibilités de routes entre les superficies forestières et les usines. Parmi les types d'usines de transformation du bois qui font partie de ce réseau, six font le sciage de résineux, deux le sciage de bois feuillus et une usine produit de la pâte et du papier. Parmi les essences transformées par les usines présentes dans la région qui forment ce réseau, le bouleau blanc, le bouleau jaune, l'érable à sucre, l'érable rouge, le peuplier tremble, le hêtre à grandes feuilles, le pin gris, le sapin baumier, le l'épinette blanche, l'épinette noire, l'épinette rouge, le mélèze

laricin et le thuya occidental. La Figure 1 explique le positionnement de l'intégrateur-système dans la chaîne d'approvisionnement en tant que représentant des besoins des usines auprès du Ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) et comme coordinateur des travaux de récolte et transport de matière ligneuse faits par le fournisseur. La Figure 1 montre aussi les tâches réalisées par l'intégrateur-système qui pourraient être bonifiées par l'application de l'optimisation mathématique, les tâches liées à la récolte et au transport du bois réalisées par le fournisseur et le rôle joué par le MRNF, en tant que gestionnaire du territoire forestier public. La planification au niveau tactique de la saison de récolte est faite par l'intégrateur-système. Cette étape vise l'affectation des secteurs et des blocs de récolte aux usines de transformation. Le choix des chemins pour le transport du bois est fait au même moment. La sélection des blocs de récolte est faite à partir de la banque de secteurs disponibles qui représente environ 300 % des besoins annuels en volume de bois pour les neuf usines qui s'approvisionnent sur le territoire. Cette banque est issue de la planification forestière réalisée par l'unité de gestion (un organisme du MRNF). Le MRNF est responsable de déterminer les superficies récoltables, leur localisation, la prescription sylvicole à appliquer, ainsi que le niveau de prélèvement.

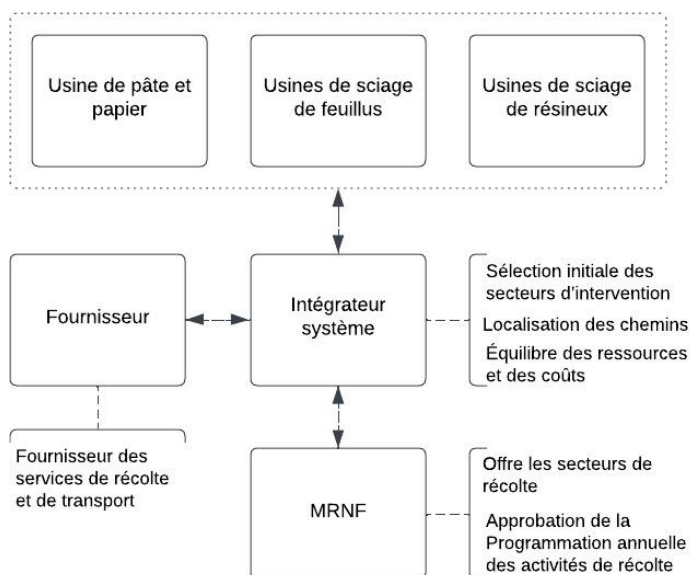


Figure 1. Schéma représentant le positionnement de l'intégrateur-système dans la chaîne d'approvisionnement

L'intégrateur-système fait d'abord un traitement des données disponibles dans la banque des secteurs d'intervention (SI). Plus précisément, toutes les essences disponibles sont regroupées en différents produits et l'estimation du volume par produit qu'un bloc de récolte donné sera capable de fournir est calculé par des ratios. Au total, ce sont huit produits différents : SEPM (sapin baumier, épinettes, pin gris et mélèze), thuya qualité sciage, thuya qualité bardeaux, bois franc (érables, bouleaux et hêtre à grandes feuilles) qualité sciage, bois franc qualité pâte, peuplier tremble qualité pâte, peuplier tremble qualité palette et feuillus confondus qualité pâte.

L'intégrateur-système fait ensuite la sélection initiale des secteurs d'intervention qui seront récoltés dans la prochaine saison. Cette étape inclut la localisation des chemins à construire et des itinéraires qui seront utilisés pour transporter les bois récoltés vers les usines. Le fournisseur participe à la localisation des chemins, puisqu'il est le responsable de la construction et de la réfection des chemins. Puis, l'intégrateur-système équilibre l'attribution des essences disponibles et des

coûts de transport et de récolte entre les usines du réseau. Pour y arriver, les paramètres utilisés sont le volume de sapin baumier, la distance moyenne entre les secteurs d'intervention et les usines et l'affectation des blocs de récolte à éclaircie commerciale aux usines.

Le volume de sapin baumier est partagé de façon proportionnelle aux quatre usines qui produisent du bois d'œuvre résineux, puisqu'il s'agit d'une essence moins désirée. La distance moyenne entre les secteurs d'intervention et les usines de transformation est équilibrée. Les coûts de transport du bois sont les coûts d'approvisionnement les plus élevés. L'intégrateur-système doit donc assurer que les coûts de transport soient répartis proportionnellement parmi les usines.

L'intégrateur-système doit aussi équilibrer l'affectation des blocs de récolte aux traitements d'éclaircie commerciale. La récolte du bois par éclaircie, c'est-à-dire en récoltant seulement une partie des arbres disponibles, est une opération plus coûteuse que la coupe totale. Donc, l'intégrateur-système assure que les coûts de récolte soient répartis entre les usines du réseau.

Actuellement, la sélection initiale des secteurs d'intervention, la localisation des chemins et l'équilibre des ressources et des coûts sont réalisés par l'ingénieur forestier de l'entreprise de façon manuelle, par une méthode d'essai-erreur jusqu'à ce que ces facteurs d'équilibre entre les usines soient atteints. L'expérience et le savoir-faire du planificateur sont très importants pour la confection du plan. Toutefois, cette méthode de planification manuelle est chronophage et limite la quantité de variables, d'objectifs et de contraintes à tenir compte. La grande diversité des paires origine-destination et des produits, le morcellement du territoire et les contraintes temporelles portent à croire que les méthodes de planification avancée issues de la recherche opérationnelle permettraient des gains de performance au processus de planification. Lors des rencontres avec l'ingénieur forestier de l'entreprise, nous avons identifié la possibilité d'implantation de l'optimisation mathématique sur la sélection initiale des secteurs d'intervention, la localisation des chemins et l'équilibre des ressources et des coûts.

Par la programmation linéaire, toutes les possibilités de sélection de secteurs d'intervention ainsi que de chemins pour transporter le bois seraient prises en compte, tout en équilibrant les essences et les coûts de transport et de récolte entre les usines, tout en minimisant les coûts opérationnels locaux et globaux du réseau. Les techniques de résolutions permettrait aussi une analyse multicritère des différents scénarios testés et une compréhension des impacts du changement des différentes variables. Après l'équilibre des ressources et des coûts entre les usines de transformation qui font partie de ce réseau, l'intégrateur-système fait la sélection finale des secteurs d'intervention. Cette sélection est validée sur le terrain par le fournisseur. La validation du plan sur le terrain est importante pour assurer sa faisabilité. Souvent cette validation engendre des modifications à la sélection finale des secteurs d'intervention.

Le produit de la planification tactique réalisée par l'intégrateur-système avec la participation du fournisseur est une banque de secteurs d'intervention finaux, qui seront récoltés dans la saison d'opérations à venir. La cartographie de la planification tactique telle que réalisée par l'intégrateur-système et leurs fonctions qui pourraient être bonifiées par l'optimisation mathématique (en gris) peuvent être observées à la Figure 2. À partir de la banque

des SI, l'intégrateur-système fait ensuite la planification opérationnelle de la saison de récolte. Tout d'abord, les blocs de récolte, qui font partie des secteurs d'intervention, sont affectés aux usines de transformation ainsi que les chemins pour transporter le bois sont définis. À ce moment, le calendrier des opérations de récolte et de transport est défini et la saison est divisée en trois périodes : été, automne et hiver. Cette division est faite en considérant des contraintes opérationnelles telles que les blocs de récolte qui sont les plus susceptibles d'être

détrémpés au début de l'été, la préférence à récolter les blocs d'éclaircie commerciale pendant l'automne et l'impossibilité de transporter le bois de certains blocs pendant l'hiver à cause de la pente prononcée des chemins. Cette affectation des blocs de récolte aux usines de transformation ainsi que le calendrier de récolte est validé sur le terrain par le fournisseur.

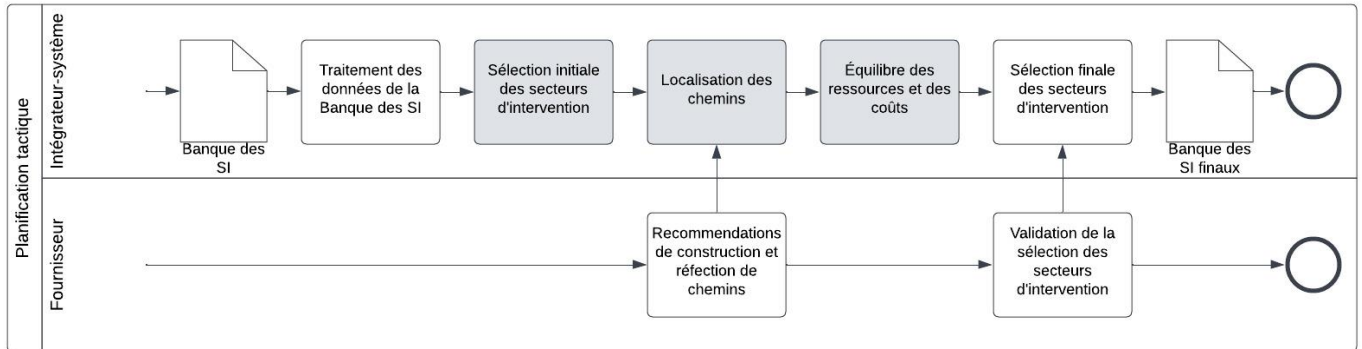


Figure 2. Planification tactique réalisée par l'intégrateur-système

La possibilité d'implanter l'optimisation mathématique pour affecter les blocs de récolte aux différentes usines, tout en considérant les contraintes opérationnelles liées aux saisons, a été un autre point soulevé lors des rencontres avec l'ingénieur forestier de l'entreprise. Puisque les blocs de récolte sont nombreux dans la région, la planification manuelle demande beaucoup de temps et l'utilisation de l'optimisation pourrait rendre ce processus plus agile et les coûts opérationnels plus minimaux.

La Programmation annuelle des activités de récolte (PRAN) est élaborée et discutée à la Table locale de gestion intégrée des ressources et du territoire (TLGIRT), un organisme de consultation qui réunit l'ensemble des usagers du territoire public, dans le but d'harmoniser les activités de tous les intervenants, y compris aussi les opérations forestières. Selon Morin (2019), la présence de l'intégrateur-système à la TLGIRT, en tant que représentant des usines de transformation du bois, rend l'arrimage des besoins des tous utilisateurs du territoire plus agile. Une fois que les usagers du territoire sont en accord sur la PRAN, le document est approuvé par la personne responsable de l'unité de gestion du territoire (MRNF). Suite à l'approbation, la PRAN est raffinée par le fournisseur dans le but de planifier les opérations de récolte et de transport à l'horizon hebdomadaire.

Lors des rencontres avec l'ingénieur forestier de la coopérative responsable de l'exécution des opérations et de la planification opérationnelle à l'horizon hebdomadaire, nous avons aussi identifié la possibilité d'implanter l'optimisation mathématique pour soutenir cette étape du processus de planification. Des études ont montré qu'il est possible de minimiser les coûts de déplacements des équipements entre les secteurs d'intervention (Painchaud, 2021).

Après le début de la saison de récolte, au mois de juin, le plan est souvent adapté à cause de l'incertitude liée au déroulement des opérations dans un milieu naturel. Ces changements sont faits en fonction du volume à récolter à chaque bloc (parfois il y en a moins que le volume prévu, parfois il y en a plus). Par ces modifications, les cibles de volume de bois dû aux usines dans la région sont atteintes, ainsi que les recommandations de prescription sylvicole. Puisque l'intégrateur-système est le lien entre les opérations sur le terrain et le système ministériel, il doit être consulté et approuver la replanification. Finalement, la saison de récolte et de transport se termine au mois d'avril. La cartographie de la planification opérationnelle réalisée par l'intégrateur-système et leur fonction qui pourrait être bonifiée par l'optimisation mathématique (en gris) peuvent être observées dans la Figure 3.

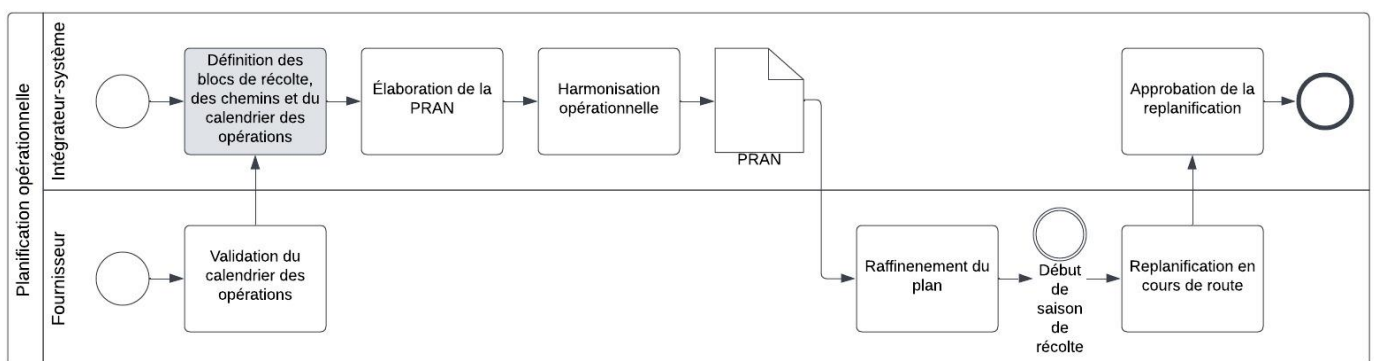


Figure 3. Planification opérationnelle réalisée par l'intégrateur-système

5 CONCLUSION

La revue de littérature a permis d'explorer le processus de planification d'un réseau d'approvisionnement forestier ainsi que le potentiel de la planification collaborative. Des auteurs de différents pays ont publié des études dans le but de mettre en lumière le potentiel d'un niveau d'intégration plus élevé dans la chaîne d'approvisionnement forestière. Parallèlement, les bénéfices que l'optimisation mathématique pourrait apporter à la planification forestière et à l'intégration de la chaîne d'approvisionnement forestière ont été identifiés. Bien que l'intégration dans les chaînes d'approvisionnement soit prometteuse, la manière de mettre en place un tel mécanisme et la façon de le structurer reste encore à être précisée.

Dans ce sens, nous proposons le concept intégrateur-système comme un moyen d'intégrer les différents acteurs qui font partie d'une chaîne d'approvisionnement multiproduit ainsi que de favoriser la performance du processus de planification collaborative centralisé d'un tel réseau d'approvisionnement. L'intégrateur-système est aussi en mesure de favoriser l'application de concepts collaboratifs, tels que la confiance et la symétrie du pouvoir entre les composants de la chaîne d'approvisionnement. De plus, nous avons mis en lumière les caractéristiques que l'intégrateur-système devrait avoir, dont l'impartialité, la crédibilité et la transparence.

Par la réalisation d'une étude de cas, nous avons cartographié un processus de planification réalisé par un intégrateur-système d'une chaîne d'approvisionnement forestière composé par plusieurs usines de transformation avec différents besoins en matière première qui s'approvisionnent sur un même territoire. Nous avons identifié les tâches de l'intégrateur-système liées à l'équilibre des ressources et des coûts entre les parties prenantes. Par ailleurs, nous avons identifié les étapes de ce processus qui pourrait être bonifiées par l'application de l'optimisation mathématique : la sélection initiale des secteurs d'intervention, la localisation des chemins et l'équilibre des ressources et des coûts. En plus des améliorations sur l'agilité du processus de planification et de la simulation de différents scénarios opérationnels et sur la réduction de coûts opérationnels liés à l'exécution du plan, l'application de l'optimisation mathématique pourrait aussi contribuer à l'impartialité et à la transparence de la planification réalisée par un intégrateur-système, en considérant l'intégration des notions d'équilibre des ressources et des coûts dans le modèle mathématique. Par conséquent, il aurait plus de crédibilité en tant que responsable de l'équilibre des ressources et des coûts entre les usines de transformation qui font partie du réseau d'approvisionnement.

Les retombées de cette recherche sont une meilleure connaissance des tâches réalisées par un intégrateur-système lors de la planification collaborative d'un réseau d'approvisionnement forestier multiacteur et multiproduit et la mise en lumière des étapes de ce processus qui pourraient être bonifiées par l'application de l'optimisation mathématique. Les prochains pas de ce projet de recherche sont justement la modélisation mathématique et l'optimisation des plans tactique et opérationnel de ce réseau d'approvisionnement. Par l'entremise de cette approche, nous serons en mesure de comparer la planification manuelle réalisée par l'intégrateur-système avec la planification faite par un intégrateur-système pouvant utiliser l'optimisation mathématique. De plus, nous pourrions simuler différents degrés d'équilibre des ressources et

des coûts dans le but de mettre en lumière leurs impacts sur les coûts opérationnels du réseau.

6 REMERCIEMENTS

Les auteurs aimeraient remercier le Consortium de recherche FORAC, l'organisme MITACS et les organisations partenaires du projet rencontrées pour leur financement ainsi que pour leur temps.

RÉFÉRENCES

- Alayet, C., Lehoux, N., & LeBel, L. (2018). Logistics approaches assessment to better coordinate a forest products supply chain. *Journal of Forest Economics*, 30, 13-24.
- Audy, J.-F., Pinotti, M., Westlund, K., D'Amours, S., LeBel, L. et Rönnqvist, M. (2012). Alternative logistic concepts fitting different wood supply situations and markets. Centre Interuniversitaire de Recherche sur les Réseaux d'entreprises, la Logistique et le Transport (CIRRELT).
- Azouzi, R., LeBel, L., D'Amours, S. (2012). Restructuring the Forest Value Chain using Intermediaries: A Methodology with Application to Community-Managed Forest (CIRRELT).
- Beaudoin, D., Frayret, J.-M. et LeBel, L. (2010). Negotiation-based distributed wood procurement planning within a multi-firm environment. *Forest Policy Economics*, 12(2), 79-93.
- Bettinger, P., Boston, K., Siry, J. P. et Grebner, D. L. (2017). *Forest management and planning* (2ème édition). Academic Press.
- Boukherroub, T., D'Amours, S., Rönnqvist, M. (2018). Sustainable forest management using Decision Theaters: Rethinking participatory planning. *Journal of Cleaner Production*, 179(1), 567-580.
- Davies, A. & Mackenzie, I. (2014). Project complexity and systems integration: Constructing the London 2012 Olympics and Paralympics Games. *International journal of project management*, 32(5), 773-790.
- Erlandsson, E. (2013). The Impact of Industrial Context on Procurement, Management and Development of Harvesting Services: A Comparison of Two Swedish Forest Owners Associations. *Forests*, 4(1), 1171-1198.
- Fawcett, S. E., Magnan, G. M. & McCarter, M. W. (2008). A three-stage implementation model for supply chain collaboration. *Journal of business logistics*, 29(1), 93-112.
- François, J., Moad, K., Bourrières, J-P., LeBel, L. (2017). A tactical planning model for collaborative timber transport. *IFAC PapersOnLine*. 50(1), 11713-11718.
- Frayret, J.-M. (2009). A multidisciplinary review of collaborative supply chain planning. *Proceedings of the 2009 IEEE International conference on systems, man, and cybernetics*.
- Gharbi, C. (2014). Étude du processus de planification des approvisionnements forestiers au Québec et mesure de sa performance [Mémoire de maîtrise, Université Laval].
- Graça, P., Camarinha-Matos, L., M. (2017). Performance indicators for collaborative business ecosystems — Literature review and trends. *Technological Forecasting & Social Change*, 116, 237-255.
- Kilger, C., Reuter, B., Stadtler, H. (2015). *Collaborative planning*. Dans Stadtler, H., Kilger, C., Meyr, H. *Supply chain management and advanced planning* (5ème édition). Springer.

- Laliberté, F. (2021). La planification de l'approvisionnement en matière ligneuse en forêt publique québécoise: alignement des objectifs et capacités [Thèse de doctorat, Université Laval].
- Lehoux, N., D'Amours, S., Langevin, A. (2014). Inter-firm collaborations and supply chain coordination: review of key elements and case study. *Production Planning & Control*, 25(1), 858-872.
- Marques, A. F., Borges, J. G., Sousa, P., Pinho, A., M. (2011). An enterprise architecture approach to forest management support systems design: an application to pulpwood supply management in Portugal. *European Journal of Forest Research*, 130, 935 – 948.
- Meyr, H., Wagner, M. et Rohde, J. (2015). Structure of advanced planning systems. Dans Stadler, H., Kilger, C., Meyr, H. *Supply chain management and advanced planning* (5ème édition). Springer.
- Mobtaker, A., Montecinos, J., Ouhimmou, M., Rönnqvist, M., Paquet, M. (2018). Minimizing spatial dispersion of forest harvest areas using spectral clustering and set covering modelling. *Canadian Journal of Forest Research*, 48 (12), 1563-1576.
- Morin, F. (2019). Planification collaborative dans l'environnement multiacteur public-privé des chaînes d'approvisionnement forestier du Québec : perspectives systémique, sociologique et informationnelle [Thèse de doctorat, Université Laval].
- Mosconi, E. P. (2014). L'apport d'une approche multidimensionnelle de gestion des connaissances à la performance décisionnelle des organisations [Thèse de doctorat, Université Laval].
- Painchaud, L. (2021). Stratégies optimisant la récolte de peuplements épars en forêt résineuse de seconde venue [Mémoire de maîtrise, Université Laval].
- Recker, J. (2010). Opportunities and constraints: the current struggle with BPMN. *Business Process Management Journal*, 16 (1), 181-201.
- Robbins, S. P. et Coulter, M. (2021). *Management*. (2ème édition). (Traduit par L. Hamel et F. Audet). Pearson ERPI.
- Sarrazin, F., Lebel, L., Lehoux, N. (2018). Analyzing the impact of implementing a logistics center for a complex forest network. *Canadian Journal of Forest Research*, 49 (2), 179-189.
- Soosay, C. A. & Hyland, P. (2015). A decade of supply chain collaboration and directions for future research. *Supply chain management: an international journal*, 20(6), 648-663.
- Uusitalo, J. (2010). *Introduction to forest operations and technology*. 1ère édition. JVP Forest Systems.
- Yin, R. K. (2014). *Case study research: Design and methods*. (5ème édition). Sage Publications.