

CIGI QUALITA MOSIM 2023

Économie circulaire en viabilité hivernale : analyse de structures de chaîne d'approvisionnement en boucle fermée et modèles de contrats

FLORENCE BLOUIN ET JEAN-FRANÇOIS AUDY

UNIVERSITE DU QUEBEC A TROIS-RIVIERES
Trois-Rivières, QC, G8Z 4M3, Canada
florence.blouin@uqtr.ca
jean-francois.audy@uqtr.ca

Résumé – Les abrasifs épandus sur les routes en viabilité hivernale pour assurer la sécurité des usagers doivent être balayés au printemps avant d'être essentiellement enfouis. Afin de réduire l'enfouissement et d'autant la consommation de ressources non renouvelables, les balayures de rue collectées pourraient être valorisées comme démontré dans des travaux antérieurs. Toutefois, la structure actuelle de chaîne d'approvisionnement linéaire et l'approche contractuelle en vigueur doivent être révisées afin de permettre le partage des gains, mais également des risques financiers entre l'administration routière et le prestataire de services considérant l'incertitude sur la quantité d'abrasifs épandus qui influence le profit du prestataire de services. Cette étude conçoit deux structures de chaîne d'approvisionnement en boucle fermée et analyse quatre modèles de contrats à prix forfaitaire fixe avec option de rachat. Les résultats d'une étude de cas indiquent qu'une transition vers une chaîne en boucle fermée génère un gain financier systémique moyen de 9 %. Une analyse de sensibilité sur la quantité moyenne d'abrasifs épandus démontre que le rachat des balayures valorisables à la juste valeur marchande permet de partager une part du gain avec le prestataire de services et, par rapport à une chaîne linéaire, mitiger l'impact de cette source d'incertitude sur son profit.

Abstract – Abrasives spread on the roads during winter maintenance to ensure user safety must be swept in the spring before being essentially landfilled. In order to reduce landfilling and the consumption of non-renewable resources, the collected street sweepings could be recovered as demonstrated in previous work. However, the current linear supply chain structure and contractual approach needs to be revised to allow for the sharing of financial gains, but also financial risks between the road authority and the service provider considering the uncertainty of the amount of abrasives spread that influences the profit of the service provider. This study designs two closed-loop supply chain structures and analyzes four fixed-price contract models with a buyback option. Results from a case study indicate that a transition to a closed-loop chain generates an average systemic financial gain of 9%. A sensitivity analysis on the average amount of abrasive spread shows that buying back reusable sweepings at fair market value allows sharing a part of the gain with the service provider and, compared to a linear chain, mitigate the impact of this source of uncertainty on its profit.

Mots clés – Économie circulaire, structure de chaîne d'approvisionnement en boucle fermée, contrat de rachat, valorisation des matières résiduelles, viabilité hivernale

Keywords – Circular economy, closed-loop supply chain structure, buyback contract, waste recovery, winter road maintenance

1 INTRODUCTION

La viabilité hivernale correspond à l'ensemble des opérations essentielles effectuées chaque hiver sur le réseau routier dans les pays nordiques afin d'assurer la sécurité des usagers par le maintien de bonnes conditions de circulation. Ces opérations récurrentes sont le déneigement des routes, suivi du déglacage qui consiste à épandre sur les chaussées des abrasifs (sable et/ou pierres concassées), mélangés ou non avec du sel, pour conserver l'adhérence des véhicules. La consommation annuelle d'abrasifs pour le déglacage des routes dépend du niveau de service requis en fonction du débit de circulation journalier moyen et des conditions météorologiques variables.

Durant les cinq dernières saisons hivernales, une moyenne annuelle de 1 054 000 tonnes d'abrasifs a été épandue sur la portion du réseau routier de 31 000 km sous la responsabilité du ministère des Transports du Québec [Lambert et al., 2022 ; MTMDET, 2022].

Au printemps, les abrasifs présents sur le réseau routier doivent être retirés par des opérations de balayage de rue. Conformément à la réglementation environnementale en vigueur, les milliers de tonnes de balayures de rue ainsi récupérées annuellement doivent généralement être enfouies. Le recours à des stratégies d'économie circulaire pour la valorisation de cette matière résiduelle s'impose considérant les effets négatifs financiers et environnementaux de l'enfouissement. Un réemploi des balayures de rue en abrasifs permettrait non seulement d'en réduire l'enfouissement, mais d'autant la consommation de ressources minérales non renouvelables.

L'économie circulaire est un concept en plein essor recommandé comme moyen pour atteindre des objectifs de développement durable [Prieto-Sandoval et al., 2018 ; Saidani et al., 2019]. Les principes de l'économie circulaire permettent d'élaborer des scénarios pérennes afin de faire face aux enjeux

contemporains associés à l'économie linéaire (extraire, fabriquer, consommer et jeter). En effet, l'incorporation de stratégies d'économie circulaire dans les activités d'une chaîne de valeur permet de maximiser les ressources tout en diminuant la production de déchets afin de mener à une situation souhaitable à la fois pour les entreprises, l'économie et l'environnement [Atabaki et al., 2020 ; Ávila-Gutiérrez et al., 2019 ; Werning et Spinler, 2020].

Des travaux de recherche antérieurs sur un procédé conventionnel de tamisage des balayures ainsi que des tests de caractérisation physico-chimique et d'épandage statique ont permis de démontrer la faisabilité technique de cette voie de valorisation au Québec [Bouchard et al., 2021 ; Blouin et al., 2022a]. Le réemploi des balayures de rue comme abrasifs d'hiver a également été étudié par Donovan [2005], Pulley et al. [2010] et Mokwa et Foster [2013], alors que Mokhbi et al. [2017] ont proposé une utilisation des balayures comme substitut d'une matière première dans les enrobés bitumineux. Toutefois, alors que des avantages environnementaux sont inhérents au concept de l'économie circulaire, la dimension économique peut représenter un enjeu important à son implantation pour les organisations [Genovese et al., 2017]. De nombreux auteurs soulignent l'importance d'évaluer les bénéfices d'une économie circulaire à l'échelle de la chaîne de valeur en adoptant une vision systémique et intégrée des dimensions économiques, sociales et environnementales pour garantir une stratégie durable et efficace [Gennari et Cassano, 2020 ; Guan et al., 2021 ; Kirchherr et al., 2017 ; Korhonen et al., 2018 ; Merli et al., 2018 ; Winans et al., 2017]. Ainsi, une analyse par simulation a de surcroît été réalisée et a démontré que la transition de la chaîne linéaire actuelle vers une boucle de valeur (c'est-à-dire une chaîne circulaire ou en boucle fermée) engendrerait, à l'échelle systémique de la chaîne des balayures de rue, des bénéfices significatifs financiers et environnementaux [Blouin et al., 2022b].

L'économie circulaire est fondée sur la mise en place de boucles de production et de consommation qui reposent sur la collaboration des parties prenantes [MacArthur, 2015]. La collaboration permet de générer de nombreux avantages collectifs par la revalorisation ainsi que le partage de ressources, mais peut s'avérer conflictuelle considérant l'implication de différents acteurs aux intérêts et aux priorités distincts. Le déploiement d'une boucle de valeur requiert donc une prise de décisions globale et intégrée dans tous les systèmes concernés [Palafox-Alcantar et al., 2020]. La coordination des chaînes d'approvisionnement est donc fondamentale afin d'aligner les décisions prises par plusieurs échelons pour atteindre une solution globalement optimale et de partager les bénéfices entre les acteurs [Bouchery et al., 2017]. Pour ces raisons, bien que les bénéfices de la valorisation des balayures de rue aient été démontrés à l'échelle systémique, l'approche contractuelle en vigueur ne permet pas le partage des risques financiers de la mise en œuvre des principes de l'économie circulaire entre les parties prenantes du balayage de rue printanier. En effet, même si la responsabilité environnementale fait partie de leurs préoccupations, les entreprises privées sont motivées que si les engagements associés à la transition vers une économie circulaire leur assurent une augmentation de leur performance individuelle [Raza, 2018]. Considérée comme l'une des principales barrières à l'élaboration d'une boucle de valeur durable [Kazancoglu et al., 2022], la difficulté de collaboration entre les parties prenantes demeure cependant peu étudiée dans la littérature [Farooque et al., 2019].

La mise en œuvre de stratégies d'économie circulaire au sein d'une chaîne d'approvisionnement nécessite la redéfinition des relations interorganisationnelles [Sudusinghe et Seuring, 2022] qui implique la prise en compte des capacités de collaboration et des possibilités d'alignement des intérêts des partenaires [Berardi et de Brito, 2021]. Considérant que la performance globale de la chaîne doit être optimisée en plus de garantir aux parties prenantes un avantage concurrentiel durable [Gennari et Cassano, 2020], les acteurs doivent négocier la façon de partager les coûts supplémentaires et les revenus de la valorisation des matières résiduelles. La gestion des risques constitue donc un nouveau défi qui doit indéniablement être étudié. Selon Herczeg et al. [2018], les principaux facteurs favorisant le succès d'une collaboration sont l'engagement des partenaires à long terme, l'alignement des incitations par l'élaboration de contrats pour le partage des revenus et des risques, la communication d'informations, la gestion de la variabilité des flux de matières et la présence de cadres réglementaires facilitateurs.

En viabilité hivernale, les coûts des opérations pour le prestataire de services dépendent de la quantité d'abrasifs éendus qui ultimement, dictera la quantité de balayures à collecter. En vertu du *Règlement sur certains contrats de services des organismes publics* présent dans la *Loi sur les contrats des organismes publics* en vigueur au Québec, les administrations routières doivent communément procéder par appel d'offres public pour les contrats de balayage des chaussées et solliciter uniquement un prix pour l'adjudication au plus bas soumissionnaire conforme [Gouvernement du Québec, 2022]. Afin de soumettre une offre, le prestataire de services doit donc déterminer préalablement un prix forfaitaire fixe pour le contrat basé sur ses connaissances tacites. Nécessairement, la quantité réelle d'abrasifs éendus sur les routes en hiver et récupérés en partie au printemps lors du balayage engendra soit un profit ou une perte que le prestataire de services, dans la seconde éventualité, pourrait être tenté de minimiser par une disposition non conforme des matières résiduelles afin d'éviter des frais d'enfouissement. Un nouveau modèle de contrat entre l'administration routière et le prestataire de services devrait par conséquent être élaboré de concert avec le déploiement des stratégies d'économie circulaire pour la valorisation des balayures de rue printanières. L'établissement d'un mécanisme de partage des coûts et des revenus est primordial afin que le risque associé aux incertitudes soit attribué équitablement entre les acteurs de la boucle de valeur [Heydari et Ghasemi, 2018].

L'objectif de cette recherche consiste à concevoir deux structures de la boucle de valeur des balayures de rue, puis à analyser la performance de quatre modèles de contrats à prix forfaitaire fixe avec option de rachat à partager entre les parties prenantes les gains et les risques financiers des opérations de balayage de rue printanier dans la transition vers une boucle de valeur. À terme, ces travaux supporteront les administrations routières publiques à adopter des principes de l'économie circulaire dans les activités de viabilité hivernale.

Pour ce faire, sur la base d'un cas d'étude en contexte autoroutier provincial, les acteurs, leurs responsabilités et leurs liens de collaboration potentiels au sein de la boucle de valeur ont d'abord été identifiés. À partir des structures ainsi définies, des modèles de contrats engendrant différentes variations pour l'allocation des coûts et des revenus entre les acteurs ont ensuite été testés. Dans la littérature, de nombreux auteurs ont appliqué cette approche méthodologique. La revue systématique de Guo et al. [2017] a démontré que les chaînes

d'approvisionnement en boucle fermée présentent une grande variété de structures et que de nombreux types de contrats peuvent les coordonner. Dans une chaîne de valeur circulaire avec une demande incertaine, Bai et al. [2022] ont comparé deux structures potentielles de remise à neuf dans le cadre d'un contrat de prix de gros, de partage des revenus et de points de récompense. Xie et al. [2018] ont comparé trois structures d'une chaîne d'approvisionnement pour la vente de produits en ligne et hors ligne avec retours possibles en fonction d'un contrat de prix de gros, de partage des revenus et de partage des coûts. Wu et al. [2020] ont développé des structures centralisées et décentralisées d'une chaîne en boucle fermée pour étudier les décisions conjointes d'investissement, de tarification et de taux de collecte considérant une demande sensible au prix. Ji et al. [2021] ont analysé les impacts sur l'ensemble de la chaîne et sur les acteurs de quatre structures avec différents canaux de recyclage en plus de proposer deux modèles de contrats de coordination. Wang et al. [2020] ont exploré l'influence du comportement du consommateur sur une chaîne d'approvisionnement en boucle fermée en fonction de quatre structures potentielles pour la collecte de produits usagés coordonnées par un contrat de partage des revenus ou de tarif en deux parties. Néanmoins, à ce jour, une telle approche méthodologique n'a pas été appliquée dans le secteur du balayage de rue printanier.

Le reste de l'article est organisé comme suit. La section 2 précise la méthodologie des travaux. Les résultats sont présentés et analysés à la section 3. Une conclusion et des perspectives de recherches futures sont discutées à la section 4.

2 METHODOLOGIE

La première étape de l'évaluation de la performance de contrats consiste à définir les structures potentielles de la boucle de valeur [Guo et al., 2017]. La structure est l'ensemble des nœuds et des liens de collaboration qui donnent lieu à différentes configurations. Un nœud peut représenter un individu, une entreprise ou une organisation, alors qu'un lien peut représenter un flux (matières, données ou informations), un échange, une interaction, une relation ou une influence [Sauvé et al., 2016]. Ensuite, les modèles de contrats envisageables doivent être élaborés en suivant ces principales étapes : l'identification des conflits d'intérêts entre les acteurs, l'identification des types de contrats qui peuvent coordonner la boucle de valeur, la détermination des paramètres qui assurent la coordination et l'évaluation des possibilités de répartition des bénéfices [Govindan et al., 2013].

2.1 Description de la chaîne linéaire et de la boucle de valeur

Comme illustré à la Figure 1, du sable et des pierres concassées sont achetés, puis les abrasifs sont épanchés sur le

réseau routier lors des opérations de viabilité hivernale. La majorité des abrasifs épanchés sont perdus dans le sol en bordure de route. Au printemps, le balayage de rue est effectué pour retirer les abrasifs présents sur les routes. Le taux de collecte des balayures, de même que la quantité de balayures épanchées, dépendent de la variation des conditions météorologiques et du débit de circulation des chaussées.

Dans la chaîne linéaire actuelle, conformément à la réglementation environnementale en vigueur, les balayures de rue collectées doivent généralement être acheminées à l'enfouissement où les frais associés dépendent du degré de contamination de la matière.

La boucle de valeur envisagée permet de réduire significativement l'enfouissement en valorisant les matières résiduelles issues des opérations de balayage de rue. Les balayures collectées sont d'abord tamisées selon leur granulométrie, puis sont ensuite caractérisées selon des réglementations environnementales spécifiques. En fonction du seuil de contamination approuvé, un échantillon de balayures de rue peut être soit recyclé en abrasifs en viabilité hivernale ou soit utilisé en matériaux de construction routière. Sinon, un échantillon de balayures classé comme matériaux contaminés doit être enfoui. Comme démontré par Blouin et al. [2022a], les balayures tamisées conformes pourront substituer des abrasifs vierges sans surcoût en étant utilisées par l'administration routière comme intrant lors de la préparation du mélange d'abrasifs à épancher.

2.2 Cas d'étude

Un cas d'étude ciblant le réseau routier sous la responsabilité du ministère des Transports du Québec et desservi par le centre de services de Trois-Rivières a été sélectionné aux fins de la conception de structures potentielles de la boucle de valeur des balayures de rue et de l'analyse de la performance de modèles de contrats. Cette portion du réseau routier inclut des autoroutes, des routes nationales, des routes régionales et des routes collectrices dont 121 kilomètres doivent être balayés. Les développements issus des travaux sur ce cas de démonstration empirique demeurent généralisables à d'autres contextes d'administration routière.

2.2.1 Paramètres et données

Les données utilisées, spécifiques au cas d'étude ciblé, comprennent les flux de matières, les coûts et les distances géographiques. Les travaux ont été élaborés en partenariat avec les principaux acteurs de la viabilité hivernale opérant dans la région du cas d'étude ciblé en plus d'experts du domaine. Les partenaires ont été impliqués par le biais de rencontres de travail qui ont permis de définir et de valider les données afin d'assurer la validité des résultats.

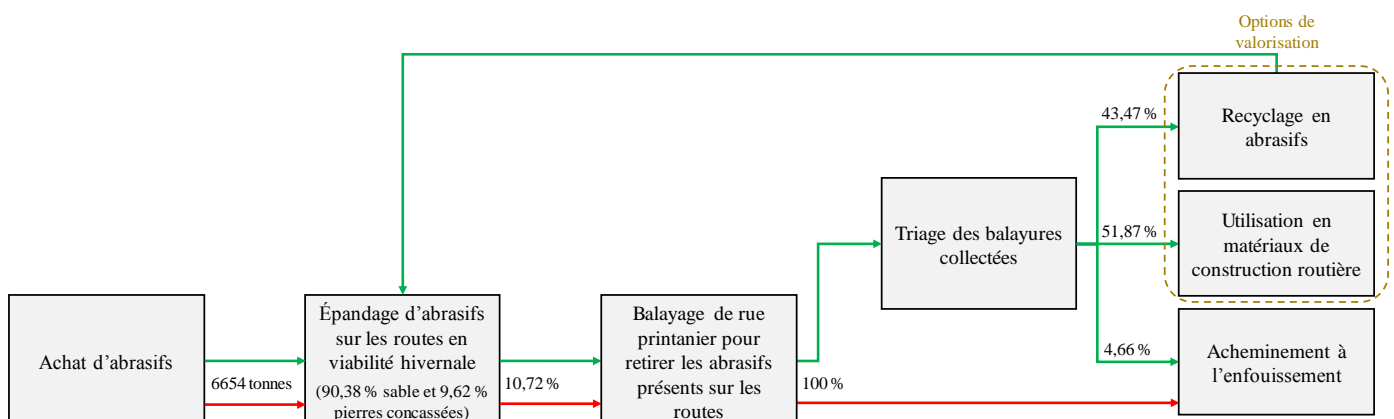


Figure 1. Activités de la chaîne linéaire actuelle (rouge) et de la boucle de valeur envisagée (vert) des balayures de rue

La Figure 1 indique les données de flux, soit respectivement, la quantité totale d'abrasifs épanchés, la proportion de sable et de pierres concassées épanchés, le taux de collecte des balayures ainsi que la proportion de balayures collectées recyclées en abrasifs, utilisées en matériaux de construction routière et acheminées à l'enfouissement. La quantité épanchée, la proportion de sable et de pierres concassées épanchés et le taux de collecte proviennent des données historiques des années 2015-2022 fournies par le ministère des Transports du Québec. Les pourcentages des options de valorisation des balayures tamisées proviennent quant à eux de résultats de tests de tamisage réalisés par un centre de recherche à partir d'échantillons d'abrasifs collectés sur différents types de routes et de Bouchard et al. [2021] qui ont analysé plus de cent échantillons de données de caractérisation des balayures. Ces pourcentages sont considérés comme fixes, mais pourraient varier en raison de divers facteurs dont notamment le degré de contamination des balayures collectées. La proportion de balayures classées comme matériaux non contaminés qui est acheminée à l'enfouissement dans la chaîne linéaire, représentant la majorité, a également été prise dans Bouchard et al. [2021] et considérée comme fixe, ce qui ultimement avantage financièrement la chaîne linéaire actuelle.

Le Tableau 1 indique les distances géographiques comprises entre les sites de la chaîne des balayures de rue pour le cas d'étude. Les distances ont été calculées à l'aide de *Google Maps* à partir d'informations sur la localisation des différents sites fournies par les partenaires. Il a été supposé que le site de triage serait placé au même endroit que le centre de services où sont entreposés les abrasifs vierges et sont basées les opérations de viabilité hivernale.

Tableau 1. Paramètres géographiques

Trajet	Origine	Destination	Distance
1	Carrière (sable)	Centre de services	27,80 km
2	Carrière (pierre concassée)	Centre de services	48,10 km
3	Site de triage	Lieu d'enfouissement	19,10 km

Le Tableau 2 indique les données financières des activités de la chaîne des balayures de rue obtenues auprès du ministère des Transports du Québec et du prestataire de services partenaire. Le coût de balayage varie selon la quantité de balayures à collecter qui influence la vitesse des opérations. Une fonction issue de travaux antérieurs internes a été utilisée afin d'estimer le nombre d'heures requises pour effectuer le balayage de rue pour le cas étudié. Les coûts de transport, qui dépendent de la distance à parcourir et de la capacité du véhicule utilisé, peuvent différer considérablement qu'un voyage en charge est toujours facturé à pleine capacité.

Tableau 2. Paramètres financiers

Activité	Description	Valeur
Achat	Abrasifs (sable)	14,00 \$/tonne
	Abrasifs (pierres concassées)	26,00 \$/tonne
Balayage	Matériaux de construction routière	12,50 \$/tonne livrée
	Système composé de deux balais classiques et de véhicules lourds	720,00 \$/heure
Transport	Trajet 1	8,23 \$/tonne
	Trajet 2	11,67 \$/tonne
	Trajet 3	6,30 \$/tonne
Triage	Système avec un tamiseur rotatif	4,00 \$/tonne
	Déplacement et installation	2 150,00 \$
Enfouissement	Matériaux classés non contaminés	25,00 \$/tonne
	Matériaux classés contaminés	145,00 \$/tonne

2.3 Structures de la boucle de valeur

Deux structures potentielles de la boucle de valeur des balayures de rue printanières ont été conçues. Les flèches représentent un transfert de la responsabilité en gestion de la

matière entre les acteurs. Dans le cadre de cette étude, un seul prestataire de services intégrant à son modèle d'affaires une proposition de service supplémentaire afin de compléter son offre traditionnelle a été considéré. Ce dernier est donc responsable à la fois des services de balayage de rue et de triage des balayures collectées.

Dans la structure de la chaîne linéaire actuelle, les abrasifs sont achetés par l'administration routière auprès de carrières, puis sont épanchés en hiver sur le réseau routier. Le prestataire de services réalise ensuite le balayage de rue et achemine les balayures collectées dans un lieu d'enfouissement technique.

La Figure 2 présente la structure A de la boucle de valeur dans laquelle le prestataire de services réalise le balayage de rue et le triage des balayures collectées. Les balayures tamisées valorisables sont retournées à l'administration routière et la portion non valorisable est acheminée dans un lieu d'enfouissement technique.

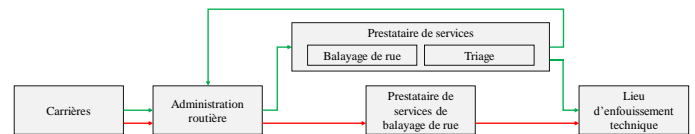


Figure 2. Structure A de la boucle de valeur (vert) et structure de la chaîne linéaire actuelle (rouge)

La Figure 3 présente la structure B de la boucle de valeur dans laquelle le prestataire de services, à la suite du balayage de rue et du triage des balayures collectées, retourne la totalité des balayures tamisées à l'administration routière qui est responsable d'acheminer les balayures non valorisables dans un lieu d'enfouissement technique.

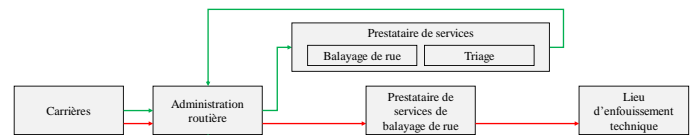


Figure 3. Structure B de la boucle de valeur (vert) et structure de la chaîne linéaire actuelle (rouge)

2.4 Modèles de contrats

Sur la base des données moyennes associées au cas d'étude, le gain financier systémique moyen de la transition de la chaîne linéaire actuelle vers une boucle de valeur a d'abord été calculé. Les détails concernant les équations utilisées à cet effet sont fournis dans Blouin et al. [2022b]. Ensuite, à partir des deux structures de la boucle de valeur définies, quatre modèles de contrats à prix forfaitaire fixe avec option de rachat pour la répartition des coûts et des revenus entre l'administration routière et le prestataire de services ont été testés. Dans la littérature, les contrats de rachat sont souvent employés pour la gestion des chaînes d'approvisionnement circulaires [Gu et Tagaras, 2014]. Les modèles de contrats analysés sont donc considérés hybrides, puisqu'ils combinent au moins deux aspects des contrats uniques traditionnels (prix forfaitaire et option de rachat) afin d'établir le lien de collaboration entre les deux parties [Guo et al., 2017]. Enfin, les modèles de contrats ont été comparés en fonction de la répartition par acteur du gain financier systémique moyen et de trois indicateurs de performance afin d'évaluer l'influence de la quantité d'abrasifs épanchés sur le profit du prestataire de services.

Dans le modèle de contrat de la chaîne linéaire actuelle, l'administration routière procède à un appel d'offres public pour octroyer à un prestataire de services un contrat à prix forfaitaire fixe pour le balayage de rue printanier et l'enfouissement des balayures collectées.

Selon la structure A de la boucle de valeur (voir Figure 2), l'administration routière octroie un contrat à prix forfaitaire fixe pour le balayage de rue, le triage des balayures collectées et l'enfouissement des balayures non valorisables à un prestataire de services. Le prestataire de services retourne ensuite les balayures valorisables à l'administration routière qui en fait le rachat au prix coûtant (contrat 1.1) ou à la juste valeur marchande (contrat 1.2). Le prix coûtant correspond au coût d'opération alors que la juste valeur marchande est équivalente au prix de la matière vierge pour laquelle les balayures valorisables rachetées peuvent être substituées. La totalité de la portion de balayures valorisables est rachetée, puisqu'en raison du taux de collecte et de recyclage du cas d'étude, cette quantité sera toujours inférieure à la demande pour l'épandage lors de la saison hivernale suivante.

Selon la structure B de la boucle de valeur (voir Figure 3), l'administration routière octroie un contrat à prix forfaitaire fixe pour le balayage de rue et le triage des balayures collectées à un prestataire de services. Le prestataire de services retourne ensuite la totalité des balayures tamisées à l'administration routière qui fait le rachat de la portion valorisable au prix coûtant (contrat 2.1) ou à la juste valeur marchande (contrat 2.2). Dans cette structure, la responsabilité de l'enfouissement des balayures non valorisables est transférée à l'administration routière.

Le prestataire de services doit donc estimer un prix forfaitaire sur la base du kilométrage à balayer qui est indiqué dans l'appel d'offres ainsi que sur ses connaissances tacites. Selon les pratiques courantes du milieu, une marge de profit de 15 % pour les opérations de balayage de rue, de transport, d'installation et d'enfouissement ainsi que de 75 % pour les opérations de triage à la tonne a été ajoutée aux prix.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

Cette section présente les résultats de la comparaison du modèle de contrat de la chaîne linéaire actuelle dans laquelle la totalité des balayures de rue collectées sont enfouies avec quatre nouveaux modèles de contrats pour la boucle de valeur dans laquelle la majorité des balayures sont valorisées et ainsi détournées de l'enfouissement.

3.1 Comparaison des modèles de contrats

Le gain financier systémique moyen de la transition vers une boucle de valeur est d'abord évalué, puis son partage entre l'administration routière et le prestataire de services en fonction des quatre modèles de contrats à prix forfaitaire fixe avec option de rachat est analysé.

3.1.1 Évaluation du gain financier systémique

La transition de la chaîne linéaire actuelle vers une boucle de valeur engendre, à l'échelle systémique de la chaîne des balayures de rue, un gain financier moyen significatif de 9,06 %, équivalent à 26 068 \$.

La mise en œuvre de stratégies d'économie circulaire dans la chaîne des balayures de rue permet donc l'élaboration d'un scénario viable pour le cas étudié. En effet, malgré les opérations additionnelles requises dans le cadre d'une boucle de valeur, des gains financiers sont générés en raison de la réduction de l'enfouissement des balayures, du transport des matières et de l'achat d'abrasifs vierges.

3.1.2 Évaluation des gains financiers individuels

Le gain financier systémique moyen calculé est réparti entre l'administration routière et le prestataire de services en

fonction des modèles de contrats définis, et ce, en supposant que le prestataire de services a soumis un prix forfaitaire selon les données moyennes comme en pratique dans le secteur.

Le Tableau 3 indique que l'usage de contrats dans lesquels le rachat des balayures valorisables s'effectue au prix coûtant fait en sorte que l'administration routière récupère la totalité du gain financier. La perte de gain du prestataire de services est attribuable à sa marge de profit calculée sur un coût total d'opération plus faible dans la boucle de valeur.

Tableau 3. Répartition par acteur du gain financier moyen

Contrat	Administration routière		Prestataire de services	
1.1	9,20 %	26 471 \$	-0,14 %	(403) \$
1.2	6,08 %	17 506 \$	2,98 %	8 562 \$
2.1	9,47 %	27 248 \$	-0,41 %	(1 180) \$
2.2	6,35 %	18 283 \$	2,71 %	7 785 \$

Toutefois, comme l'illustre la Figure 4, un rachat à la juste valeur marchande permet de transférer jusqu'à environ un tiers du gain financier de la transition vers une boucle de valeur, équivalent à 8 562 \$, au prestataire de services. Une approche de partage des gains est une condition sine qua non pour inciter un prestataire de services à prendre part de son plein gré à l'implantation d'une boucle de valeur et apparaît plus prometteuse qu'une approche coercitive imposant le recours aux stratégies d'économie circulaire dans l'appel d'offres public.

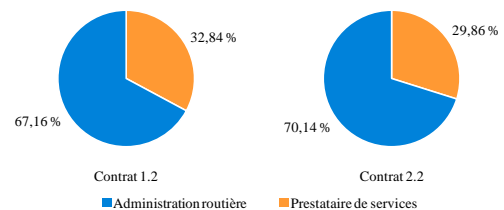


Figure 4. Proportion par acteur du gain financier moyen avec l'usage de contrats avec rachat à la juste valeur marchande

3.2 Influence de la quantité d'abrasifs épandus

La quantité d'abrasifs épandus annuellement sur le réseau routier est un paramètre qui varie selon les conditions météorologiques hivernales. Considérant l'utilisation d'un contrat à prix forfaitaire fixe, la quantité épandue influence le profit réalisé par le prestataire de services. À partir de la moyenne de la quantité d'abrasifs épandus lors des sept dernières années pour le cas d'étude, un prix forfaitaire fixe moyen pour le coût des opérations de la boucle de valeur a d'abord été calculé sur la base des quatre modèles de contrats définis. Pour une série de quantités d'abrasifs épandus (± 50 % de la moyenne de 6 654 tonnes afin de prendre en compte la variabilité possible selon les données historiques) et sans modifier les valeurs des autres paramètres, le profit du prestataire de services a ensuite été calculé.

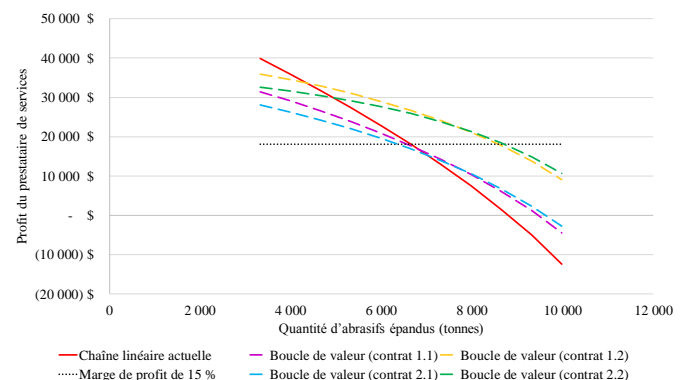


Figure 5. Profit du prestataire de services en fonction de la quantité d'abrasifs épandus

La Figure 5 démontre que l'incertitude sur la quantité d'abrasifs épanchés en viabilité hivernale peut significativement influencer le profit réalisé par le prestataire de services considérant l'usage d'un contrat à prix forfaitaire fixe qui est estimé sur la base de connaissances tacites lors de l'appel d'offres public. Principalement, les coûts de balayage et d'enfouissement des matières résiduelles collectées, qui augmentent de pair avec la quantité d'abrasifs épanchés, font en sorte que le coût réel des opérations par rapport au prix initialement soumis peut varier. Sur la base d'une quantité moyenne d'abrasifs épanchés de 6 654 tonnes, le profit moyen escompté du prestataire de services dans la chaîne linéaire actuelle, avec une marge de 15 %, est de 18 092 \$. Une perte marginale moyenne du profit par tonne d'abrasifs épanchés de 7,86 \$ est observée avec le contrat de la chaîne linéaire actuelle. Le prestataire de services subit ainsi une perte financière à partir d'une quantité d'abrasifs épanchés de 8 793 tonnes, soit une quantité supérieure de 32,15 % par rapport à la moyenne.

Le Tableau 4 présente les résultats de la comparaison des quatre modèles de contrats potentiels pour la boucle de valeur avec le modèle actuel de la chaîne linéaire. Trois indicateurs de performance sont utilisés aux fins de la comparaison : i) le point mort, soit la quantité d'abrasifs épanchés qui ne génère pour le prestataire de services ni perte ni profit ; ii) le seuil de rentabilité de la circularité, soit la quantité d'abrasifs épanchés à partir de laquelle une boucle de valeur est plus profitable que la chaîne linéaire actuelle ; et iii) le seuil de profit moyen, soit la quantité d'abrasifs épanchés à partir de laquelle le profit du prestataire de services est inférieur au profit moyen obtenu dans la chaîne linéaire actuelle. Pour chacun de ces indicateurs, la variation en pourcentage par rapport à la quantité moyenne d'abrasifs épanchés de 6 654 tonnes est également indiquée.

Tableau 4. Comparaison des modèles de contrats

Indicateur	Chaîne linéaire actuelle	Boucle de valeur			
		Modèle de contrat			
		1.1	1.2	2.1	2.2
Point mort (tonnes)	8 793	9 455	10 971	9 668	11 097
Variation (%)	+32,15	+42,10	+64,88	+45,30	+66,77
Seuil rentabilité (tonnes)	–	6 807	4 366	7 005	4 938
Variation (%)	–	+2,30	-34,39	+5,28	-25,79
Seuil profit (tonnes)	–	6 569	8 577	6 360	8 706
Variation (%)	–	-1,28	+28,90	-4,42	+30,84

D'abord, les résultats indiquent que les quatre modèles de contrats testés pour la mise en œuvre d'une boucle de valeur permettent au prestataire de services de réduire son risque de perte de profits par rapport au modèle de contrat actuel de la chaîne linéaire. En effet, minimalement avec l'usage du contrat 1.1 dans lequel le rachat par l'administration routière des balayures valorisables s'effectue au prix coûtant, le prestataire de services peut supporter, en moyenne, une augmentation de 9,95 % de la quantité d'abrasifs épanchés par rapport au modèle actuel de la chaîne linéaire avant de subir une perte financière. Les modèles de contrats dans lesquels le rachat des balayures valorisables s'effectue plutôt à la juste valeur marchande permettent au prestataire de services de ne pas subir une perte financière avant une augmentation de 64,88 % (contrat 1.2) et 66,77 % (contrat 2.2) de la quantité moyenne d'abrasifs épanchés, équivalent à une quantité de 10 971 et 11 097 tonnes, respectivement. Il convient de souligner que selon les données historiques, la quantité d'abrasifs épanchés la plus élevée recensée est de seulement 40 % supérieure à la moyenne.

Ensuite, les résultats montrent qu'avec l'usage d'un modèle de contrat dans lequel le rachat des balayures valorisables se fait au prix coûtant (contrats 1.1 et 2.1), la transition vers une boucle de valeur devient profitable pour le prestataire de services qu'une

fois la quantité moyenne d'abrasifs épanchés dépassée. Par ailleurs, la quantité d'abrasifs épanchés à partir de laquelle le profit du prestataire de services devient inférieur au profit moyen actuellement obtenu dans le modèle de la chaîne linéaire est moins élevée que la quantité moyenne épanchée, ce qui ne rend pas ces deux modèles de contrats intéressants pour le prestataire de services. Le rachat par l'administration routière des balayures valorisables à la juste valeur marchande permet cependant de rendre plus profitable la transition vers une boucle de valeur à partir de 4 366 tonnes avec le contrat 1.2 et 4 938 tonnes avec le contrat 2.2, soit respectivement une réduction de 34,39 % et 25,79 % par rapport à la quantité moyenne d'abrasifs épanchés. Le rachat à la juste valeur marchande permet également au prestataire de services d'avoir un profit supérieur au profit moyen réalisé avec le modèle de la chaîne linéaire jusqu'à un minimum de 8 577 tonnes avec le contrat 1.2.

Enfin, en comparant les modèles de contrats 1.2 et 2.2, on observe que le transfert de la responsabilité de l'enfouissement à l'administration routière ne sera profitable pour le prestataire de services que lorsque la quantité d'abrasifs épanchés excédera 7 726 tonnes, soit de 16,11 % de plus que la moyenne.

En somme, bien que les quatre modèles de contrats potentiels pour la mise en œuvre d'une boucle de valeur permettent au prestataire de services de réduire son risque de perte de profits qui est influencé par la quantité d'abrasifs épanchés, le rachat des balayures valorisables au prix coûtant ne permet pas de corriger l'iniquité du partage des risques financiers présent dans le modèle actuel de la chaîne linéaire. Seuls les modèles de contrats dans lesquels l'administration routière s'engage à racheter les balayures valorisables à la juste valeur marchande permettent au prestataire de services une rentabilité moyenne supérieure en accomplissant ses opérations selon une boucle de valeur plutôt que selon une chaîne linéaire. Finalement, considérant la réduction du montant forfaitaire payé pour les services associés au balayage de rue printanier ainsi que la réduction des coûts d'achat et de transport des abrasifs vierges, il est également plus profitable pour l'administration routière d'effectuer la transition vers une boucle de valeur.

4 CONCLUSION

L'intégration des principes de l'économie circulaire est souhaitable dans les activités de viabilité hivernale. Le recyclage des balayures de rue printanière pour une utilisation en abrasifs ou en matériaux de construction routière génère en effet des bénéfices financiers et environnementaux. Cependant, l'approche contractuelle en vigueur pour les services de balayage de rue et d'enfouissement des matières résiduelles ne permet pas le partage des gains ni des risques financiers entre les parties prenantes considérant l'incertitude sur la quantité d'abrasifs épanchés qui influence le profit du prestataire de services. Afin d'analyser le partage des coûts et des revenus d'une économie circulaire, deux structures de la boucle de valeur envisagée des balayures de rue ont été conçues, puis quatre modèles de contrats à prix forfaitaire fixe avec option de rachat ont été testés. Les données relatives à une étude de cas en contexte autoroutier provincial ont été utilisées.

Les résultats indiquent qu'une boucle de valeur génère un gain financier systémique moyen de 9 %, équivalent à 26 068 \$. L'analyse de sensibilité démontre également que l'usage d'un contrat dans lequel l'administration routière rachète les balayures valorisables à la juste valeur marchande permet au prestataire de services d'obtenir un tiers du gain et ainsi supporter une augmentation d'environ 66 % de la quantité moyenne d'abrasifs épanchés, comparativement à 32 % avec la

chaîne linéaire actuelle, avant de subir une perte financière. Ces résultats devraient ainsi encourager les administrations routières publiques à entreprendre des actions vers cette transition considérant l'intérêt indéniable pour l'ensemble des acteurs de l'adoption de stratégies d'économie circulaire dans les activités de viabilité hivernale. La méthodologie proposée pour l'analyse des approches contractuelles serait d'ailleurs applicable par tout décideur pour la gestion des matières résiduelles de chaînes d'approvisionnement en boucle fermée comportant des incertitudes.

Il convient de noter que ces travaux comportent certaines limites. D'abord, les résultats sont conformes seulement à la législation du Québec et ils sont valides pour le cas d'étude sélectionné qui est représentatif de la majorité des cas du réseau routier de la province de Québec [Blouin, 2022]. Les valeurs de l'ensemble des paramètres varieront inévitablement dans d'autres contextes et les résultats différeront par conséquent selon le cas étudié bien que la logique sous-jacente à l'approche proposée de partage demeure valide. Les pourcentages des options de valorisation et d'enfouissement à la suite du triage pourraient également différer en raison du risque associé à la contamination des balayures. En outre, les données financières des activités de balayage et de triage ont été estimées de concert avec le prestataire de services partenaire sur la base de données historiques et de connaissances tacites. Enfin, certaines contraintes logistiques potentielles telles que la capacité de stockage n'ont pas été prises en compte.

Une perspective de recherche future serait d'analyser la performance d'autres modèles de contrats à partager les risques financiers afin d'inciter davantage le prestataire de services à collaborer dans le cadre d'une boucle de valeur. Des travaux futurs pourraient analyser l'effet sur le profit du transfert du risque associé à la quantité d'abrasifs épanchés à l'administration routière avec l'usage d'un contrat à prix forfaitaire variable à la tonne de balayures collectées. Divers contrats peuvent d'ailleurs être utilisés pour coordonner et structurer les obligations contractuelles des acteurs d'une chaîne d'approvisionnement, dont les plus reconnus sont le contrat de rachat, de partage des revenus, de prix de gros et de tarif en deux parties [Cachon et Lariviere, 2005 ; Govindan et al., 2013 ; Guo et al., 2017]. Les travaux de Zhang et Li [2020] ont également utilisé la théorie des jeux afin de comparer divers contrats pour le partage des revenus dans une chaîne circulaire avec une distribution inégale des bénéfices entre les acteurs considérant les coûts additionnels de la valorisation de matières résiduelles. Au-delà d'une simple répartition des coûts et des revenus, l'ensemble des paramètres de risques financiers potentiels devront être identifiés, puis les termes du contrat devront être négociés afin de les partager de manière équitable entre les deux parties. La négociation des contrats et la mise en place d'incitatifs améliorent effectivement la performance globale des chaînes d'approvisionnement en plus des bénéfices individuels des acteurs [Song et Gao, 2018]. À cet effet, les incertitudes devront être prises en compte par le recours à une analyse de sensibilité des solutions aux différents paramètres du cas d'étude.

De nos jours, les organisations doivent assumer de plus en plus de responsabilités en matière de développement durable. La réglementation doit donc évoluer pour s'adapter à cette nouvelle réalité [Chen et al., 2020]. Les marchés publics devraient impérativement favoriser la consommation et l'approvisionnement responsables afin d'améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources et ainsi en ralentir les flux. Les appels d'offres devraient inclure des critères d'économie

circulaire qui inciteraient les fournisseurs du secteur privé à innover et à adopter des pratiques durables. Des recherches futures devront donc définir les spécifications techniques à indiquer dans le cahier des charges de l'appel d'offres public en vue de l'adjudication des contrats pour les opérations de balayage de rue printanier. Considérant la démonstration de la viabilité de la transition vers une boucle de valeur, le triage des balayures en vue de leur valorisation devrait devenir une exigence dans le cadre de l'appel d'offres public. Un prestataire de services qui adopterait des stratégies d'économie circulaire en détournant de l'enfouissement les matières résiduelles récupérées à la suite du balayage de rue printanier aurait par conséquent un avantage concurrentiel afin de remporter le contrat en appel d'offres public tout en ayant le potentiel de générer un gain financier.

REMERCIEMENTS

Cette recherche a été réalisée avec le soutien du Fonds de recherche du Québec – Société et culture grâce à une bourse de doctorat en recherche (dossier #306190). Nous aimerions également remercier pour leur collaboration Arseno Balayage, le ministère des Transports du Québec, Innofibre, Biopierre, le chercheur postdoctoral Bechir Ben Daya et la professeure Amina Lamghari.

RÉFÉRENCES

- Atabaki, M. S., Mohammadi, M., & Naderi, B. (2020). New robust optimization models for closed-loop supply chain of durable products: towards a circular economy. *Computers & Industrial Engineering*, 146, 106520.
- Ávila-Gutiérrez M. J., Martín-Gómez A., Aguayo-González F., & Córdoba-Roldán A. (2019). Standardization framework for sustainability from circular economy 4.0. *Sustainability*, 11(22), 6490.
- Bai, Y., Song, W., & Wang, X. (2021). Contracts Selection Under Quality Uncertainty in Refurbish Decisions. *IEEE Access*, 10, 6084-6098.
- Berardi, P. C., & de Brito, R. P. (2021). Supply chain collaboration for a circular economy - from transition to continuous improvement. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129511.
- Blouin, F. (2022). *Simulation d'une chaîne de valeur circulaire dans le domaine du balayage de rue printanier* [mémoire de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières]. Cognitio. <https://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/10053>.
- Blouin, F., Audy, J. F. & Jebri, M. (2022a). Balayures de rues printanières au Québec – Faisabilité de l'intégration de l'économie circulaire. *Vecteur Environnement*, 55(2), 34-38.
- Blouin, F., Audy, J. F. & Lamghari, A. (2022b). Circular economy in winter road maintenance: a simulation study. *Sustainability*, 14(23), 15635.
- Bouchard, K., Audy, J. F., Lange, S., & Jebri, M. (2021). Balayures de rues printanières au Québec – Analyse de données sur les possibilités de valorisation. *Vecteur Environnement*, 54(2), 36-41.
- Bouchery, Y., Ghaffari, A., Jemai, Z., & Tan, T. (2017). Impact of coordination on costs and carbon emissions for a two-echelon serial economic order quantity problem. *European Journal of Operational Research*, 260(2), 520-533.
- Cachon, G. P., Lariviere, M. A. (2005). Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: strengths and limitations. *Management Science*, 51(1), 30-44.
- Chen, L. H., Hung, P., & Ma, H. W. (2020). Integrating circular business models and development tools in the circular

- economy transition process: A firm-level framework. *Business Strategy and the Environment*, 29(5), 1887-1898.
- Donovan, H. (2005). *Winter street sand recycling program*. TAC-ATC Annual Conference, 18-21 September, Calgary, Canada. <http://conf.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2005/docs/s5/donovan.pdf>
- Farooque, M., Zhang, A., Thüner, M., Qu, T., & Huisingh, D. (2019). Circular supply chain management: a definition and structured literature review. *Journal of Cleaner Production*, 228, 882-900.
- Gennari, F., & Cassano, R. (2020). Circular economy and strategic risk. *Symphonya. Emerging Issues in Management*, 1, 136-148.
- Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A., & Koh, S.L., (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega* 66, 344-357.
- Gouvernement du Québec. (2022). *C-65.1 – Loi sur les contrats des organismes publics*. Repéré le 20 décembre 2022 à <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/lc/C-65.1>
- Govindan, K., Popiuc, M. N., & Diabat, A. (2013). Overview of coordination contracts within forward and reverse supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 47, 319-334.
- Gu, Q., & Tagaras, G. (2014). Optimal collection and remanufacturing decisions in reverse supply chains with collectors imperfect sorting. *International Journal of Production Research*, 52(17), 5155-5170.
- Guan, G., Jiang, Z., Gong, Y., Huang, Z., & Jamalnia, A. (2021). A bibliometric review of two decades' research on closed-loop supply chain: 2001-2020. *Ieee Access*, 9, 3679-3695.
- Guo, S., Shen, B., Choi, T. M., & Jung, S. (2017). A review on supply chain contracts in reverse logistics: Supply chain structures and channel leaderships. *Journal of Cleaner Production*, 144, 387-402.
- Herczeg, G., Akkerman, R., & Hauschild, M. Z. (2018). Supply chain collaboration in industrial symbiosis networks. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1058-1067.
- Heydari, J., & Ghasemi, M. (2018). A revenue sharing contract for reverse supply chain coordination under stochastic quality of returned products and uncertain remanufacturing capacity. *Journal of Cleaner Production*, 197, 607-615.
- Ji, Y., Yang, H., Qu, S., & Nabe, M. (2020). Optimal strategy for a closed-loop supply chain considering recycling and warranty channels. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(2), 1585-1601.
- Kazancoglu, I., Kazancoglu, Y., Kahraman, A., Yarimoglu, E., & Soni, G. (2022). Investigating barriers to circular supply chain in the textile industry from stakeholders' perspective. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 25(4-5), 521-548.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation and recycling*, 127, 221-232.
- Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., & Birkie, S. E. (2018). Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*, 175, 544-552.
- Lambert, J., Lessard, S., Beaulieu, M., Boulanger, A. A., Léveillé, J.P., Pellerin, N., Seudjio, J., & Shink, L. (2022). *Sels de voirie: optimiser leur usage pour en limiter les répercussions sur l'environnement*. https://www.vgq.qc.ca/Fichiers/Publications/rapport-cdd/184/04_vgq_cdd-juin%202022_ch04_sels_web.pdf
- MacArthur, E. (2015). *Towards the circular economy, economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation, Cowes, UK.
- Merli, R., Preziosi, M., & Acampora, A. (2018). How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 178, 703-722.
- Mokwa, R., & Foster, A. (2013). *Testing and evaluation of recovered traction sanding material*. https://www.mdt.mt.gov/other/webdata/external/research/docs/research_proj/recycling/final_report_apr13.pdf
- Mokhbi, S., Assaf, G. J., & Yacef, N. (2017). Évolution des propriétés physiques des abrasifs routiers exposés à un cycle hivernal et perspectives de leur réutilisation. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(4), 286-297.
- MTMDET. (2022). *Information sur le réseau routier*. Repéré le 9 décembre 2022 à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/projets-infrastructures/info-reseau-routier/Pages/information-sur-le-reseau-routier.aspx>
- Palafox-Alcantar, P. G., Hunt, D. V. L., & Rogers, C. D. F. (2020). A hybrid methodology to study stakeholder cooperation in circular economy waste management of cities. *Energies*, 13(7), 1845.
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 179, 605-615.
- Pulley, A. K., Baird, K., & Felsburg, H. (2010). *Investigation of re-use options for used traction sand* (No. CDOT-2010-4). Colorado. DTD Applied Research and Innovation Branch.
- Raza, S. A. (2018). Supply chain coordination under a revenue-sharing contract with corporate social responsibility and partial demand information. *International Journal of Production Economics*, 205, 1-14.
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel François, & Kendall, A. (2019). A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 207, 542-559.
- Sauvé, S., Normandin, D., & McDonald, M. (2016). *L'économie circulaire : une transition incontournable*. Presses de l'Université de Montréal.
- Song, H., & Gao, X. (2018). Green supply chain game model and analysis under revenue-sharing contract. *Journal of Cleaner Production*, 170, 183-192.
- Sudusinghe, J. I., & Seuring, S. (2022). Supply chain collaboration and sustainability performance in circular economy: a systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 245, 108402.
- Wang, N., Song, Y., He, Q., & Jia, T. (2020). Competitive dual-collecting regarding consumer behavior and coordination in closed-loop supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 144, 106481.
- Werning, J. P., & Spinler, S. (2020). Transition to circular economy on firm level: Barrier identification and prioritization along the value chain. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118609.
- Winans, K., Kendall, A., & Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 825-833.
- Wu, W., Zhang, Q., & Liang, Z. (2020). Environmentally responsible closed-loop supply chain models for joint environmental responsibility investment, recycling and pricing decisions. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120776.
- Xie, J., Zhang, W., Liang, L., Xia, Y., Yin, J., & Yang, G. (2018). The revenue and cost sharing contract of pricing and servicing policies in a dual-channel closed-loop supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 191, 361-383.
- Zhang, N., & Li, B. (2020). Pricing and coordination of green closed-loop supply chain with fairness concerns. *Ieee Access*, 8, 224178-224189.