

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DE SCÉNARIOS DE RECONDITIONNEMENT DE MOBILIER DE BUREAU

par

Irenka VAN DER STAR

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE
LA MAÎTRISE AVEC MÉMOIRE EN GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT
M. Sc. A

MONTREAL, LE 6 FÉVRIER 2025

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Irenka van der Star, 2025



Cette licence [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

PRÉSENTATION DU JURY
CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ
PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Mathias Glaus, directeur de mémoire
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Frédéric Monette, président du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

Mme Annie Levasseur, membre du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 16 JANVIER 2025

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier mon directeur de recherche, Mathias Glaus. Sa connaissance et sa sagesse ont été un atout pour mon développement professionnel. Il m'a appris à mieux conceptualiser des problématiques complexes, à bien développer mes idées et structurer ma pensée. Sa patience et sa compréhension m'ont aidé à surmonter les défis et m'ont permis de travailler à mon rythme. Je suis privilégié d'avoir travaillé sous la tutelle d'une personne avec autant d'expertise.

Je tiens aussi à remercier l'équipe d'INOVEM pour l'étroite collaboration durant le projet. Je souhaite remercier, plus spécialement, Adeline Seneclauze d'avoir travaillé avec ardeur sur ce projet. À mes yeux, nous avons une précieuse connivence. Merci à Léo et Rémy pour leur contribution.

Finalement, je remercie ma famille et mes proches qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mon cheminement universitaire. J'aimerais remercier Louis-Simon pour son appui dans ma démarche, m'être prêté l'oreille et m'avoir donné le courage de continuer. Tu es la meilleure personne placée pour ça.

Évaluation environnementale de scénarios de reconditionnement de mobilier de bureau

Irenka VAN DER STAR

RÉSUMÉ

Le secteur du mobilier de bureau génère une grande quantité de déchets. La majorité est disposée sans être valorisée malgré qu'il existe des alternatives comme le reconditionnement, le recyclage, la valorisation ou le réemploi. Peu de données sont disponibles sur la filière du mobilier de bureau en fin de vie ainsi que sur les impacts environnementaux associés.

L'objectif général de cette étude est d'évaluer l'impact environnemental du reconditionnement de mobilier de bureau, une pratique qui s'inscrit dans l'économie circulaire. Une étude de cas est réalisée en partenariat avec Hydro-Québec et le Centre d'innovation en ébénisterie et meuble (INOVEM). Hydro-Québec décide de reconditionner des cubicules existants plutôt que faire l'achat de mobilier neuf dans leur projet de réaménagement des espaces à bureaux. Pour démarrer le projet, un inventaire des composantes des cubicules a été effectué après un démontage. L'équipe d'INOVEM a conçu deux prototypes de casiers reconditionnés : le casier monteur et le casier reprographie. La conception des meubles est accompagnée d'un flux de matière et d'une estimation de la consommation énergétique, utile à l'évaluation environnementale.

L'impact environnemental de trois scénarios a été comparé avec une analyse des flux de matière et d'énergie (AFME) et avec une analyse du cycle de vie (ACV). Les trois scénarios à l'étude sont la fabrication de mobilier neuf (filière conventionnelle), le reconditionnement unique et le reconditionnement multiple. L'ACV repose sur sept indicateurs d'impact environnemental : les changements climatiques à court et long terme, l'utilisation de ressources fossiles et nucléaires, la biodiversité à travers l'occupation et la transformation des terres et la consommation d'eau et de ressources minérales.

Trois types de résultats sont obtenus à la suite de l'analyse comparative de scénario : le bilan des flux (A1), le taux de circularité (A2) et l'évaluation environnementale (B). Les résultats du bilan des flux montrent un déséquilibre dans le flux de matière. Seulement 8 % et 9 % de la matière totale est réutilisés dans le casier monteur et reprographie respectivement. Le taux de circularité équivaut à 6 % (monteur) et 7 % (reprographie). Cependant, même avec une performance modeste en matière de circularité, des bénéfices environnementaux ont été observés pour chaque indicateur d'impact. Le reconditionnement permet de réduire la consommation de matières premières et la production de déchets.

Bien que le reconditionnement présente des avantages environnementaux, l'étude met en évidence la nécessité de renforcer la circularité en améliorant l'écoconception des meubles en amont et en aval tout en impliquant davantage de parties prenantes.

Mots-clés : reconditionnement, mobilier de bureau, analyse de flux de matière et d'énergie, analyse du cycle de vie, économie circulaire

Environmental assessment of office furniture reconditioning scenarios

Irenka VAN DER STAR

ABSTRACT

The office furniture sector generates a significant amount of waste. Most of it end up in landfill, even though alternatives such as remanufacturing, recycling, material recovery and reuse are available. Limited data is currently available on end-of-life office furniture management and the associated environmental impacts.

This study focuses on evaluating the environmental impact of remanufacturing office furniture, a practice aligned with the principles of the circular economy. The case study was conducted in partnership with Hydro-Québec and the Centre d'innovation en ébénisterie et meuble (INOVEM). As part of their office redesign project, Hydro-Québec chose to recondition existing cubicles instead of purchasing new furniture. To initiate the project, an inventory of the cubicle components was carried out following disassembly. INOVEM's team designed two prototypes of refurbished storage units: the rise cabinet and the reprography cabinet. The design process included a material flow analysis and an energy consumption estimate to support the environmental assessment.

The environmental impact of three scenarios was compared using a material and energy flow analysis (MEFA) and a life cycle assessment (LCA). The three scenarios studied include the manufacture of new furniture (conventional pathway), single refurbishment and multiple refurbishments. The LCA is based on seven environmental impact indicators: short and long term climate change, fossil and nuclear resource use, biodiversity impact through land occupation and transformation and water and mineral resource consumption.

Three types of results were obtained from the comparative scenario analysis : material flow report (A1), circularity performance (A2) and environmental assessment (B). The material flow report results show an imbalance with only 8% and 9% of the total material being reused in the recondition cabinets. The circularity performance is also low at 6% and 7%. However, even with modest circularity performance, environmental benefits were observed across each impact indicator. Remanufacture reduces both raw material consumption and waste generation.

Although remanufacture has environmental advantages, the study highlights the need to improve circularity by enhancing eco-design practices upstream and downstream while involving a broader range of stakeholders.

Keywords: remanufacturing, reconditioning, office furniture, material and energy flow analysis, life cycle analysis, circular economy

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 ÉTAT DES CONNAISSANCES	3
1.1 Filière du mobilier de bureau	3
1.1.1 Aménagement des espaces à bureaux et le travail hybride	4
1.1.2 Résidus de construction, rénovation et démolition	6
1.1.3 Mobilier de bureau	8
1.2 Gestion en fin d'usage	10
1.2.1 Système du mobilier de bureau	11
1.2.2 Économie circulaire comme approche systémique	14
1.2.3 Le reconditionnement	16
1.3 Évaluation environnementale	18
1.3.1 Analyse de flux de matière et d'énergie	18
1.3.2 Analyse du cycle de vie	20
1.3.3 Outils et paramètres pour une analyse du cycle de vie	22
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE	25
2.1 Étude de cas	26
2.1.1 Cubicules d'Hydro-Québec	26
2.1.2 Reconditionnement selon deux concepts de casiers	27
2.1.3 Scénarios	29
2.2 Évaluation environnementale	32
2.2.1 Analyse des flux de matière et d'énergie	32
2.2.2 Analyse du cycle de vie	34
CHAPITRE 3 RÉSULTATS	37
3.1 Analyse comparative de scénarios	37
3.1.1 Bilan des flux de matière	37
3.1.2 Taux de circularité de la matière	43
3.1.3 Évaluation environnementale	45
CHAPITRE 4 DISCUSSION	51
4.1 Opérationnalisation du reconditionnement au Québec	51
4.1.1 Intégration de la filière de reconditionnement au Québec	51
4.1.2 Pistes d'améliorations	54
4.2 Perspective	55
CONCLUSION	59
ANNEXE I DISTANCES MOYENNES PARCOURUES PAR LA MATIÈRE	61
ANNEXE II DESCRIPTION DES CATÉGORIES D'IMPACTS	63

ANNEXE III SCHÉMA DES FLUX	65
ANNEXE IV FACTEURS D'ÉMISSIONS DES CATÉGORIES D'IMPACT POUR LES PROCESSUS DU SYSTÈME	67
ANNEXE V TAUX DE CIRCULARITÉ DU RECONDITIONNEMENT MULTIPLE	69
LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	71

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1 Matières résiduelles liées à la filière du mobilier de bureau et la gestion en fin d'usage	10
Tableau 1.2 Comparaison entre les catégories d'impact intermédiaires de la méthode d'analyse IMPACT World+ et les impacts environnementaux reliés à la filière du mobilier	24
Tableau 2.1 Caractéristiques des données collectées pour l'évaluation environnementale lors de l'inventaire	27
Tableau 2.2 Type de données obtenues à l'aide de la liste de flux et de la planification	28
Tableau 2.3 Comparaison des scénarios selon les flux	31
Tableau 2.4 Unité de mesure pour chaque flux du système de la filière du mobilier de bureau	33
Tableau 2.5 Processus Ecoinvent (version 3.7) sélectionnés pour l'analyse d'impact environnemental Tiré de Ecoinvent (s.d.)	35
Tableau 2.6 Catégories d'impacts sélectionnées pour l'analyse	36

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1 Représentation schématique de la chaîne de valeur de l'industrie du meuble	12
Figure 1.2 Schéma logique du cheminement du mobilier de bureau en fin d'usage	13
Figure 1.3 Les 12 stratégies d'économie circulaire au Québec	15
Figure 2.1 Résumé de l'approche méthodologique de l'analyse comparative de scénarios de reconditionnement	25
Figure 2.2 Bureau à cloison type dans les bureaux d'Hydro-Québec.....	26
Figure 2.3 Nouveau concept de mobilier de bureau. A : casier reprographie. B : casier monteur	28
Figure 2.4 Schéma des flux du cycle de reconditionnement	30
Figure 2.5 Schéma des flux pour les trois scénarios	32
Figure 3.1 Bilan des flux pour le casier monteur selon les différents scénarios : (A) filière conventionnelle; (B) reconditionnement unique; (C) reconditionnement multiple	39
Figure 3.2 Bilan des flux pour le casier reprographie selon les différents scénarios : (A) filière conventionnelle; (B) reconditionnement unique; (C) reconditionnement multiple	40
Figure 3.3 Taux de circularité de la matière pour le casier monteur (reconditionnement unique)	43
Figure 3.4 Taux de circularité de la matière pour le casier reprographie (reconditionnement unique)	44
Figure 3.5 Impacts environnementaux pour le casier monteur des différents scénarios selon sept indicateurs d'impacts	46
Figure 3.6 Impacts environnementaux pour le casier reprographie des différents scénarios selon sept indicateurs d'impacts	47

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

3RV-E	Réduction, réemploi, recyclage, valorisation et élimination
ACV	Analyse du cycle de vie
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AFME	Analyse de flux de matière et d'énergie
CDT	Centre de tri
CDT-CRD	Centres de tri de résidus de construction, de rénovation et de démolition
CRD	Résidus de construction, rénovation et démolition
DMS	Dépôt de matériaux secs
ÉC	Économie circulaire
EDDEC	Institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire
EPA	Agence de protection de l'environnement
FC	Filière conventionnelle
FEM	Fondation Ellen MacArthur
ICI	Industries, commerces et institutions
INOVEM	Centre d'innovation en ébénisterie et meuble
LEDCE	Lieux d'enfouissement de débris de construction ou de démolition
LET	Lieux d'enfouissement technique
MP	Matière première
MP _p	Matière première primaire
MP _s	Matière première secondaire
OQLF	Office québécois de la langue française

XVIII

PCA	<i>Property Council of Australia</i>
PIB	Produit intérieur brut
REIMR	Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles
RM	Reconditionnement multiple
RU	Reconditionnement unique
UEA	Union Européenne de l'Ameublement

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

A	Ampère
h	Heure
kg	Kilogramme
km	Kilomètre
kWh	Kilowattheure
m ²	Mètre carré
m ³	Mètre cube
éq.	Équivalent
MJ	Mégajoule
t	temps
V	volt

INTRODUCTION

La pandémie de la COVID-19 est venue changer le paradigme du télétravail. Le confinement a contraint la population à travailler de la maison, ce qui était peu courant auparavant. Les immeubles de bureaux se sont retrouvés vacants du jour au lendemain. Même après la fin du confinement, la plupart des travailleurs ne passent plus la semaine entière au bureau. Avec moins de personnes en présentiel, de nombreux bureaux restent inutilisés. Les entreprises ont pour la plupart réduit leur superficie d'espace à bureaux. Le nombre de bureaux a donc diminué, tandis que le nombre d'utilisateurs reste le même (Montréal centre-ville & Institut du développement urbain du Québec, 2023). Une stratégie adoptée chez les entreprises est la mutualisation des espaces. Le Partage des espaces et des infrastructures réduit les frais immobiliers engendrés. La mutualisation permet aussi de repenser les aménagements des espaces à bureau (CBRE, 2024). La flexibilité, la collaboration et le bien-être sont maintenant favorisés (Pan, Chen, & Bardhan, 2024). La réduction des impacts environnementaux est également associée à la mutualisation. En effet, la pression sur les ressources naturelles et leurs milieux récepteurs est diminuée (OFLQ, s.d.-c, s.d.-d). En revanche, en adoptant subitement cette stratégie, l'entreprise doit se départir rapidement du mobilier de bureau, qui devient ainsi une matière résiduelle.

Plusieurs voies de gestion en fin d'usage sont possibles pour les matières résiduelles issues de la filière du mobilier de bureau : la réutilisation, le reconditionnement, le recyclage, la valorisation et la disposition sans valorisation. Ces solutions en fin de vie ne sont pas toutes égales. Certaines solutions sont plus répandues que d'autres et elles ne permettent pas toutes un retour de la matière dans la chaîne de valeur. Chaque voie possède son lot d'avantages et de désavantages. L'enfouissement, qui est la méthode la plus couramment utilisée au Québec pour se débarrasser des meubles, ne permet pas de récupérer les matériaux. De plus, les sites d'enfouissement techniques (LET) constituent une source importante de gaz à effet de serre et atteignent progressivement leur capacité maximale au Québec (Ministère de l'Environnement; de la Lutte contre les changements climatiques; de la Faune et des Parcs (MELCCFP), 2021).

Hydro-Québec désire réduire le nombre de cubicules pour créer des espaces de collaboration plus ouverts. Les bureaux à cloisons deviennent donc inutiles. D'une part, les grandes surfaces de bureaux ne sont plus adaptées aux besoins modernes. D'autre part, le classeur et le caisson sont obsolètes avec la numérisation des documents. Hydro-Québec désire donc se départir de son mobilier de bureau et évaluer le potentiel de reconditionnement des cubicules pour fabriquer des casiers sur une utilisation de 10 ans. L'objectif général de ce mémoire est d'examiner si une solution s'inscrivant dans une approche d'économie circulaire peut véritablement garantir un bilan environnemental positif. Pour y parvenir, l'étude s'appuie sur une évaluation environnementale approfondie. L'évaluation se base en premier lieu sur une analyse des flux de matières et d'énergie (AFME). L'évaluation environnementale s'est en deuxième lieu appuyée sur une approche d'analyse du cycle de vie (ACV). Pour atteindre l'objectif principal, l'étude fixe des objectifs secondaires, soit :

- Définir le système du mobilier de bureau au Québec;
- Mettre en place les scénarios comparatifs et faire l'identification des processus;
- Sélectionner les indicateurs d'impacts environnementaux adaptés à cette filière;
- Réaliser une analyse comparative des différents scénarios pour évaluer leurs impacts environnementaux.

Le chapitre 1 présente l'état des connaissances sur la filière du mobilier de bureau. Il traite, en première partie, de la filière du mobilier de bureau et des matières résiduelles générées. En deuxième partie, l'économie circulaire comme approche système et le reconditionnement sont examinés davantage en profondeur. La troisième partie donne les informations nécessaires à la réalisation de l'évaluation environnementale avec une AFME et un ACV. Le chapitre 2 détaille les étapes méthodologiques et les éléments nécessaires afin de réaliser la démarche scientifique. Les résultats sont exposés dans le chapitre 3. Le chapitre suivant discute des résultats obtenus et présente une perspective basée sur l'état des connaissances.

CHAPITRE 1

ÉTAT DES CONNAISSANCES

Le premier chapitre de ce mémoire présente, en trois parties, l'état des connaissances dans la filière du mobilier de bureau. La première partie trace le cheminement du mobilier de bureau en fin d'usage. La deuxième partie explore les concepts d'économie circulaire et le reconditionnement. Dans la troisième partie, deux outils de mesures sont présentés afin de permettre une évaluation environnementale des différents scénarios.

1.1 Filière du mobilier de bureau

Le mobilier de bureau est une commodité de travail essentielle pour tout emploi de bureau. Selon l'Office québécois de la langue française (Office québécois de la langue française, s.d.-e), le mobilier de bureau est « destiné à être utilisé dans un bureau ». Le « bureau » fait référence au « lieu de travail commun du personnel d'un organisme ou d'une entreprise » (OQLF, s.d.-a). L'OQLF donne quelques exemples de mobilier trouvés dans ces espaces : une table, un bureau, une chaise et un classeur (OQLF, s.d.-e). Ainsi, il est essentiel pour une entreprise d'être adéquatement meublé afin que les employés puissent exercer leur fonction. Le bureau à cloison est un type de mobilier utilisé en entreprise pour créer des zones de travail fonctionnel. Selon le grand dictionnaire terminologique, le bureau à cloisons est un « petit bureau fermé sur deux ou trois côtés par des cloisons de hauteur variable, généralement amovibles ». Le terme cubicule est fréquemment utilisé au Québec (Office québécois de la langue française, s.d.-b).

La première section du chapitre discute du roulement constant de mobilier de bureau au sein des entreprises. Ce roulement de meubles génère continuellement des matières résiduelles et une demande dans la production de mobilier neuf. D'ailleurs, ils sont principalement comptabilisés dans la catégorie des résidus de construction, rénovation et démolition (CRD). De ce fait, la deuxième section de ce travail révèle les tendances de générations de matières

résiduelles des CRD. Finalement, la dernière section examine plus spécifiquement le secteur du mobilier et les données existantes dans différentes régions du monde.

1.1.1 Aménagement des espaces à bureaux et le travail hybride

L'avènement d'environnements de travail ouverts et confortables, accéléré par la Covid-19, a amené les entreprises à repenser l'aménagement de leurs espaces à bureaux. Avant la pandémie, il y avait déjà des tendances d'espace de travail ouvert et partagé. Après, la pandémie est venue modifier le modèle traditionnel avec l'instauration du télétravail. Cette mesure a été prise afin de s'adapter au confinement. Beaucoup de personnes se sont alors créés des espaces de bureau à la maison. Le télétravail, même après la levée du confinement, est resté incrusté dans les habitudes des travailleurs. Selon le dernier rapport de l'*État du centre-ville*, au premier trimestre de 2023, 68 % des employés préféreraient un télétravail en partie. L'*État du centre-ville* est un rapport sur le taux d'occupation et les habitudes de télétravail et est réalisé par une multitude d'acteurs montréalais. Les données du rapport témoignent aussi que 47 % font du télétravail trois jours et plus, 22 % télétravaillent deux jours et moins et 31 % ne font aucun jour de télétravail. De plus, le mercredi, étant le jour de plus grande affluence, ne dépasse pas le 60 % de présence au bureau. Bien que, les activités dans les espaces de bureau ont repris davantage depuis 2022, ce n'est pas un retour complet (Montréal centre-ville & Institut du développement urbain du Québec, 2023). Par ailleurs, des auteurs américains estiment que la Pandémie a changé les environnements de travail pour toujours et que le télétravail s'est cristallisé chez les travailleurs (Barrero, Bloom, & Davis, 2021).

Deux organisations ont compilé des données sur le taux d'occupation des espaces à bureaux de la région de Montréal. D'abord, la société CBRE (2024), entreprise de services immobiliers commerciaux, établit un rapport, sur les espaces à bureaux du Canada. La CBRE comptabilise le marché immobilier canadien depuis 2019. Ensuite, l'État du centre-ville publie des rapports trimestriels. Pour le premier trimestre fiscal de 2024, les villes du Canada ont un taux d'inoccupation de 18,4 % en moyenne (villes et banlieues). Avant la pandémie, le taux d'inoccupation avoisinait le 10 %. Pour la grande région de Montréal, le taux moyen se situe

à 18,1 %. Plus précisément, le taux est de 17,7 % pour la région métropolitaine et de 18,7 % pour la banlieue. Pour Montréal, il s'agit d'une montée du taux d'inoccupation, spécialement pour le centre-ville, où le taux était moins de 12 % depuis 2021 (CBRE, 2024). Par ailleurs, des études en provenance de l'Australie montrent des résultats similaires de l'effet de la COVID-19 sur le taux de disponibilités des espaces à bureaux. Les études indiquent que les demandes pour les espaces de bureau, spécialement dans les grandes villes australiennes (Sydney et Melbourne), ont diminué depuis 2020. La Banque de réserve d'Australie confirme que les demandes pour acquérir des espaces à bureau ont diminué d'environ 10 à 30 % (Reserve Bank of Australia, 2021). Selon les données exprimées par Le Property Council of Australia (PCA), la vacance des bureaux a passé de 8 % avant la pandémie à 12,1 % dans les grandes villes d'Australie. (Cummins, 2022, 6 février; Property Council of Australia, s.d.)

La diminution du nombre de personnes présentes au bureau entraîne l'inutilisation de nombreux bureaux. En effet, les résultats d'une enquête de la CRBE indiquent qu'aux États-Unis, 56 % des locataires ont un ratio employé par bureau d'une personne et moins. En Europe, plus de 60 % possèdent un ratio entre 1,01 et 2,0. Les États-Unis et la région de l'Asie-Pacifique veulent suivre cette tendance et se fixent pour objectif un ratio de 1,0 ou plus dans moins de 30 % des cas. Les entreprises décident donc de réduire la superficie de leurs espaces à bureau. Cette réduction constitue une décision économique et une stratégie pour s'adapter au mode de travail hybride. (CBRE, 2023) Par conséquent, la plupart des employés ne possèdent plus de bureau attitré et doivent utiliser un bureau partagé. Le partage d'équipement, qui correspond à une des stratégies d'économie circulaire, diminue la consommation de biens matériels et réduit ainsi la pression sur les ressources matérielles et énergétiques (OFLQ, s.d.-c, s.d.-d). En revanche, en appliquant instantanément cette stratégie, une proportion du mobilier déjà existant doit être abandonné. Ainsi, cela peut créer un afflux important de matières résiduelles en provenance de la filière du mobilier de bureau.

La réduction de la taille des espaces à bureau est un mouvement récent. En revanche, la configuration des espaces est un sujet d'étude depuis quelques années. D'un côté, les espaces de collaboration gagnent en popularité et des analyses ont été réalisées pour vérifier leur

efficacité. Les aménagements conventionnels, avec les cubicules, ne conviennent plus aux besoins des professionnels. Il y a une volonté d'imaginer de nouveaux espaces à bureau. Ces nouveaux espaces tentent de faciliter la communication et la collaboration. D'un autre côté, le confort au travail prend de l'importance, qu'il soit thermique, visuel, audio, physique, physiologique, psychologique ou spirituel. L'émergence des espaces de collaboration ainsi que le nouvel intérêt pour un environnement de travail adapté aux besoins des usagers sont d'autres facteurs qui encouragent le réaménagement des espaces à bureaux. (Pan et al., 2024) Par le fait même, cela contribue à la génération de matières résiduelles de la filière de mobilier de bureau. Les matières résiduelles de la filière sont traitées comme des résidus de construction, rénovation et démolition.

1.1.2 Résidus de construction, rénovation et démolition

Actuellement, aucune donnée n'est disponible sur l'état de la gestion du mobilier de bureau en fin d'usage au Québec. En revanche, RECYC-QUÉBEC en 2021, a réalisé un bilan de la gestion des matières résiduelles incluant les résidus de constructions, rénovations et démolition (CRD) au Québec. Ces données sont pertinentes, car le mobilier de bureau se retrouve dans les CRD. En effet, la plupart des mobiliers de bureau, au moment de s'en départir, terminent dans un conteneur multimatière avec le reste des CRD. Bien que ses données soient pertinentes, elles sont imparfaites car la proportion de mobilier dans les CRD reste inconnu. Les tendances, sur la gestion en fin d'usage, peuvent se ressembler d'une filière à l'autre (MultiRecycle, communication personnelle, 23 novembre 2022 ; Réseau-Bureautique, communication personnelle, 16 mars 2023).

Au Québec, les sites d'enfouissement sont régis par le Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles (REIMR) (Chapitre Q-2, r. 19) en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement (Gouvernement du Québec, 2006). Ce règlement a été mis en place pour promouvoir les actions de la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles 1998-2008. La politique a comme objectif principal de réduire la quantité de matière résiduelle disposée sans être valorisée. Le REIMR a opéré de nombreux changements

sur la gestion des CRD (MELCCFP, s.d.-a). Les matériaux secs sont des résidus broyés non dangereux et qui se dégradent sans la présence de fermentation. Le bois, les gravats, le béton et les morceaux de pavages en sont des exemples. Avant l'arrivée des centres de tri de résidus de construction, de rénovation et de démolition (CDT-CRD), dans le début des années 2000, ce sont les dépôts de matériaux secs (DMS) qui recevaient une grande partie des CRD. Ils étaient sujets à moins de réglementation que les lieux d'enfouissement technique (LET), car ils recevaient que des matériaux secs considérés inertes. En comparaison, les LET nécessitent des activités de captages du lixiviat pour éviter la pollution des sols et des eaux. Toutefois, des études ont démontré que des polluants dans des DMS, comme les métaux lourds, le fer, le plomb et autres, contaminaient l'environnement (RECYC-QUÉBEC, 1999). Après 2009, les résidus de CRD ne pouvaient plus être éliminés dans des dépôts de matériaux secs (DMS). La désignation de ces sites a aussi été changée pour lieux d'enfouissement de débris de construction ou de démolition (LEDCE). Les LEDCE ne sont pas soumis à l'article 25 qui stipule que les sites doivent avoir un système de captage du lixiviat et traitement d'un rejet assujéti à des conditions particulières ainsi qu'à l'article 32, obligeant les sites à avoir un système de captage de biogaz. L'entrée en vigueur du REIMR en 2006 a laissé trois ans aux LEDCE existant pour se conformer aux nouvelles exigences, à affecter ces entreprises. Le nouveau règlement précise qu'il est interdit d'établir ou d'agrandir un LEDCE (MELCCFP, s.d.-a). Cette décision a entraîné la fermeture de 45 LEDCE entre 2004 et 2016 (RECYC-QUÉBEC, 2018). Aujourd'hui, il ne reste que cinq installations (RECYC-QUÉBEC, 2024). Ce règlement s'inscrit dans l'intention d'encourager la récupération et le recyclage des matières dans des CDT-CRD (MELCCFP, s.d.-a; RECYC-QUÉBEC, 2018). C'est ainsi qu'il est possible d'observer une augmentation du nombre de CDT-CRD. Présentement, il y a plus de 45 établissements de CDT-CRD au Québec (RECYC-QUÉBEC, 2018). En comparaison, aucune installation n'existait en 1996 (RECYC-QUÉBEC, 1999).

Au Québec, en 2021, pas moins de 1 846 000 tonnes de CRD ont été envoyées en centre de tri de CRD. De ce 1,8 million de tonnes, 650 000 tonnes ont été rejetées du CDT pour être acheminées à l'élimination. Dans le cas actuel, 71 % du tonnage provient de la filière collectes et parc de conteneur, 20 % des écocentres et 7 % des industries, commerces et institutions (ICI)

directement. Aussi, RECYC-QUÉBEC a recensé que 46 % de la matière des CDT est destiné à une filière de recyclage, 41 % à de la valorisation énergétique, 14 % à l'exportation et autres destinations. Un autre 1 666 000 tonnes de CRD ont directement été éliminés. De ce montant, 89 % sont d'origine du secteur de la construction et des ICI. Au total, le Québec doit traiter 2 316 000 tonnes de CRD chaque année (RECYC-QUÉBEC, 2021).

1.1.3 Mobilier de bureau

L'industrie du meuble est bien implantée au Québec. En effet, ce secteur représente un produit intérieur brut (PIB) de 1,7 milliard de dollars et il emploie plus de 23 000 personnes. À lui seul, le sous-secteur « meubles de bureau » offre 5 800 emplois et son PIB est de 492 M\$ (Statistique Canada, 2023a, 2023b). Comme mentionné à la section précédente, le Québec ne possède pas de données précises sur les matières résiduelles en provenance de la filière de mobilier de bureau. Les matériaux qui composent le mobilier (bois, métal et plastique) correspondent à ceux des CRD, mais leur gestion en fin de vie se distingue. Certains pays, autres que le Canada, ont réussi à extraire des données. Cependant, il est difficile de trouver des données sur le mobilier de bureau uniquement. Dans ces rapports, les études se basent parfois sur toutes catégories confondues de pièce d'ameublement. Dans les données, les meubles des ménages comme les matelas, les divans, les unités de cuisine (excepté électroménager) et les bases de lit s'y retrouvent.

Lorsqu'une entreprise doit se départir de son mobilier, elle se tourne souvent vers un distributeur. Dans certains cas, le distributeur propose un montant pour la revente du mobilier ou l'achète directement. Cependant, lorsqu'il n'y a pas d'acheteur potentiel, les entreprises peuvent se retrouver à payer des frais élevés pour faire évacuer le mobilier dans des conteneurs. La situation est similaire pour les firmes d'aménagement. D'une part, lors d'un déménagement, peu d'attention est accordée au tri des matériaux pour faciliter le recyclage. D'autre part, le mobilier n'est pas déplacé avec soin, occasionnant de nombreux bris. Souvent, ces opérations se font à la dernière minute et en dernier recours. L'état du mobilier de bureau n'est donc plus

en état d'être remployé ou reconditionné (Réseau-Bureautique, communication personnelle, 16 mars 2023).

L'Europe est la seule région à avoir effectué l'exercice de collecte de données sur le mobilier de bureau. En effet, quelques rapports ont été réalisés en économie circulaire dans le secteur du meuble et il est possible d'y trouver des données sur le mobilier de bureau. Un premier rapport européen estime que 1,9 million de tonnes de mobilier de bureau sont consommées en une année dans la filière du mobilier de bureau. Cela se compare à un 10,5 millions de tonnes de meubles excluant le mobilier de bureau. Le rapport évalue la quantité de déchets de mobilier générés chaque année, équivalente à celle du mobilier consommé, atteignant près de 10 millions de tonnes (European Environmental Bureau (EEB), 2017). Un second rapport européen sur le marché du meuble donne des informations sur la consommation de meubles : 82 % des meubles sont achetés par les ménages et 18 % par les entreprises. Dans ce 18 %, 9 % sont associés uniquement à la catégorie des mobiliers de bureau alors que le 9 % restant correspond à l'ameublement des espaces publics (écoles, hôtels et restaurant, stades, aéroports, hôpitaux, etc.) (European Commission - Directorate-General for Enterprise and Industry, 2014). Une faible proportion de ces meubles sont recyclés. L'Union européenne de l'Ameublement (UEA), estime que 80 à 90 % des résidus de meuble sont incinérés ou envoyés à l'enfouissement et qu'environ 10 % sont recyclés (European Environmental Bureau (EEB), 2017).

L'Agence de protection de l'environnement (EPA) aux États-Unis a évalué, en 2018, la quantité de biens durables générés et leur gestion en fin de vie, soit le recyclage, le compostage, la valorisation énergétique et l'enfouissement. Selon l'agence, un bien durable est un produit lourd, volumineux ayant une durée de vie de trois ans et plus (Environmental Protection Agency (EPA), 2018). Les biens durables sont équivalents aux encombrants au Québec (RECYC-QUÉBEC, 2009). Les biens inclus dans cette catégorie sont les appareils ménagers, les meubles de maisons, planchers, électroniques et autres objets divers. L'origine des biens durables est municipale. Les CRD commerciaux ne sont donc pas inclus dans ces données. En 2018, 12,1 millions de tonnes de meubles ont été disposées. De plus, 80 % des meubles

résidentiels aux États-Unis sont disposés sans être valorisé. Le 20 % restant est utilisé pour faire de la valorisation énergétique et seulement 0,4 % des meubles sont recyclés (Environmental Protection Agency (EPA), 2018).

Le Tableau 1.1 présente les principales valeurs disponibles sur les matières résiduelles générées par la filière du mobilier de bureau. De plus, les données indiquent la proportion éliminée et recyclée ou valorisée. Des données sur les CRD ont été extraites puisque les déchets de mobilier de bureau peuvent se retrouver dans cette catégorie de résidus. En revanche, les données sur les CRD n'indiquent pas la proportion du mobilier. Seule l'Europe a comptabilisé des données spécifiques aux mobiliers de bureau et aux CRD. Les données de meuble aux États-Unis et au Québec concernent principalement les meubles de source résidentielle.

Tableau 1.1 Matières résiduelles liées à la filière du mobilier de bureau et la gestion en fin d'usage

Régions	Europe (European Environmental Bureau (EEB), 2017)			États-Unis (Environmental Protection Agency (EPA), 2015, 2018)			Québec (RECYC-QUÉBEC, 2021)		
Type de matières	CRD	Mobilier (bureau)	Mobilier (foyer)	CRD	Mobilier (bureau)	Encom- brant	CRD	Mobilier (bureau)	Encom -brant
Disposition/ incinération (t)	s. o.	1,70 M (90 %)	7,70 M (90 %)	420 M (70 %)	s. o.	9,60 M (80 %)	1,60 M (57 %)	s. o.	35 k (73 %)
Valorisation/ recyclage (t)	s. o.	0,20 M (10%)	0,90 M (10 %)	180 M (25 %)	s. o.	2,40 M (20 %)	1,20 M (43 %)	s. o.	13 k (27 %)
Total (t)	871 M	1,90 M	8,60 M	600 M	s. o.	12,1 M	2,80 M	s. o.	48 k

1.2 Gestion en fin d'usage

La gestion en fin d'usage est une des étapes du cycle de vie d'un produit. Elle est intrinsèquement liée au système du produit dans son ensemble, comprenant sa conception, sa production, son utilisation et finalement sa fin d'usage. Le premier segment de cette section se concentre sur le système du produit et explore en détail comment chaque phase du cycle de vie est impliquée dans la filière. Les stratégies et les pratiques d'économie circulaire pouvant être

prises en place pour optimiser la gestion en fin d'usage seront examinées dans le deuxième segment. Le dernier segment aborde plus en détail le reconditionnement comme stratégie d'ÉC.

1.2.1 Système du mobilier de bureau

Le système d'un produit englobe toutes les phases de son cycle de vie. Les étapes du système sont interreliées et elles s'influencent entre elles. Cela souligne l'importance d'une approche systémique pour une gestion efficace et durable. Cette première section explore le système du mobilier de bureau. La Figure 1.1 offre une représentation schématique du processus de production, du début jusqu'à la fin. Tout d'abord, la matière première principale (bois) est extraite. Ensuite, elle passe par une première phase de transformation afin d'obtenir différents types de produits tels que, des planches de bois, du contreplaqué, des panneaux de particules, etc. Ces produits vont devoir être travaillés une seconde fois (coupe, placage, peinture, teinture), afin d'avoir un produit semi-fini. Enfin, la troisième et dernière transformation consiste en l'assemblage des pièces préparées et à la finition. Les produits finis sont maintenant prêts à être commercialisés (Gouvernement du Québec, 2007).

Le moyen de commercialisation varie selon le type de produits finis, notamment en ce qui concerne la distribution. En effet, les meubles de bureau, commerciaux ou institutionnels peuvent être vendus par centaines d'unités à la fois, contrairement aux meubles résidentiels, qui se vendent généralement en petites quantités. De plus, rares sont les entreprises au Québec qui fournissent des services tant aux entreprises qu'aux particuliers (Index Design, 2023).

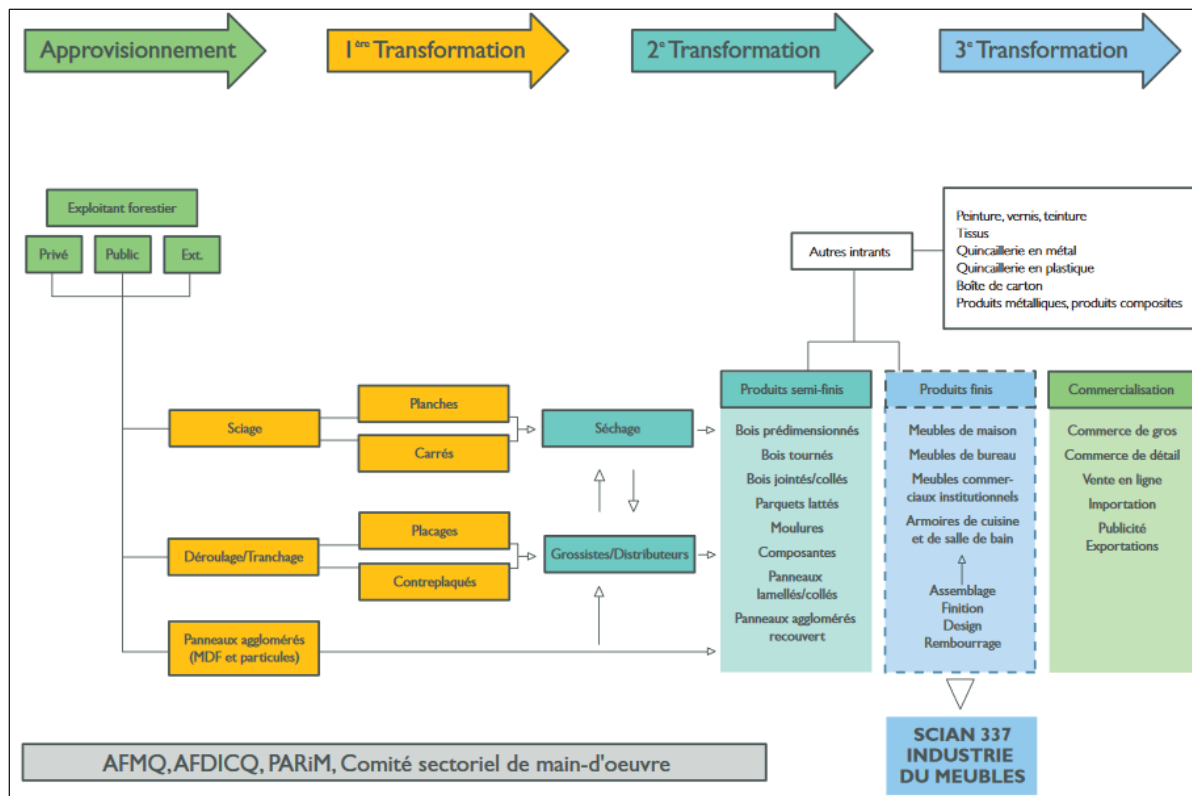


Figure 1.1 Représentation schématique de la chaîne de valeur de l'industrie du meuble
Tiré du Gouvernement du Québec (2007)

Dans la Figure 1.1, la gestion en fin d'usage des meubles n'est pas représentée. Le marché offre présentement quelques voies en fin d'usage. Les travaux de Seneclauze et al. (2023) ont permis de caractériser le chemin de la matière en fin d'usage. La Figure 1.2 présente la séquence des opérations que le mobilier du bureau suit avant d'arriver à la gestion en fin d'usage attendu. Les solutions en fin d'usage se distinguent par leurs caractéristiques après la phase d'utilisation : la matière est-elle réutilisable, restaurable, recyclable ou valorisable ? Différentes avenues sont offertes selon une réponse positive ou négative à ces questions. Les différentes alternatives à la fin de vie des produits (rectangles bleus) sont associées au réemploi, au reconditionnement, au recyclage, aux trois types de valorisations et à la disposition sans valorisation. Certaines solutions (réemploi, recyclage, etc.) permettent de boucler la totalité ou une partie de la matière dans le système alors que d'autres comme la valorisation sans recyclabilité, la valorisation énergétique et la disposition sans valorisation ne le permettent pas. Le schéma de flux est pertinent pour repérer le chemin de la matière, mais

ne fournit pas le portrait complet de l'industrie. Par exemple, il ne permet pas de connaître l'importance de chaque solution dans le marché. Aussi, aucun détail n'est fourni sur le raisonnement ou l'explication derrière la prise de décision.

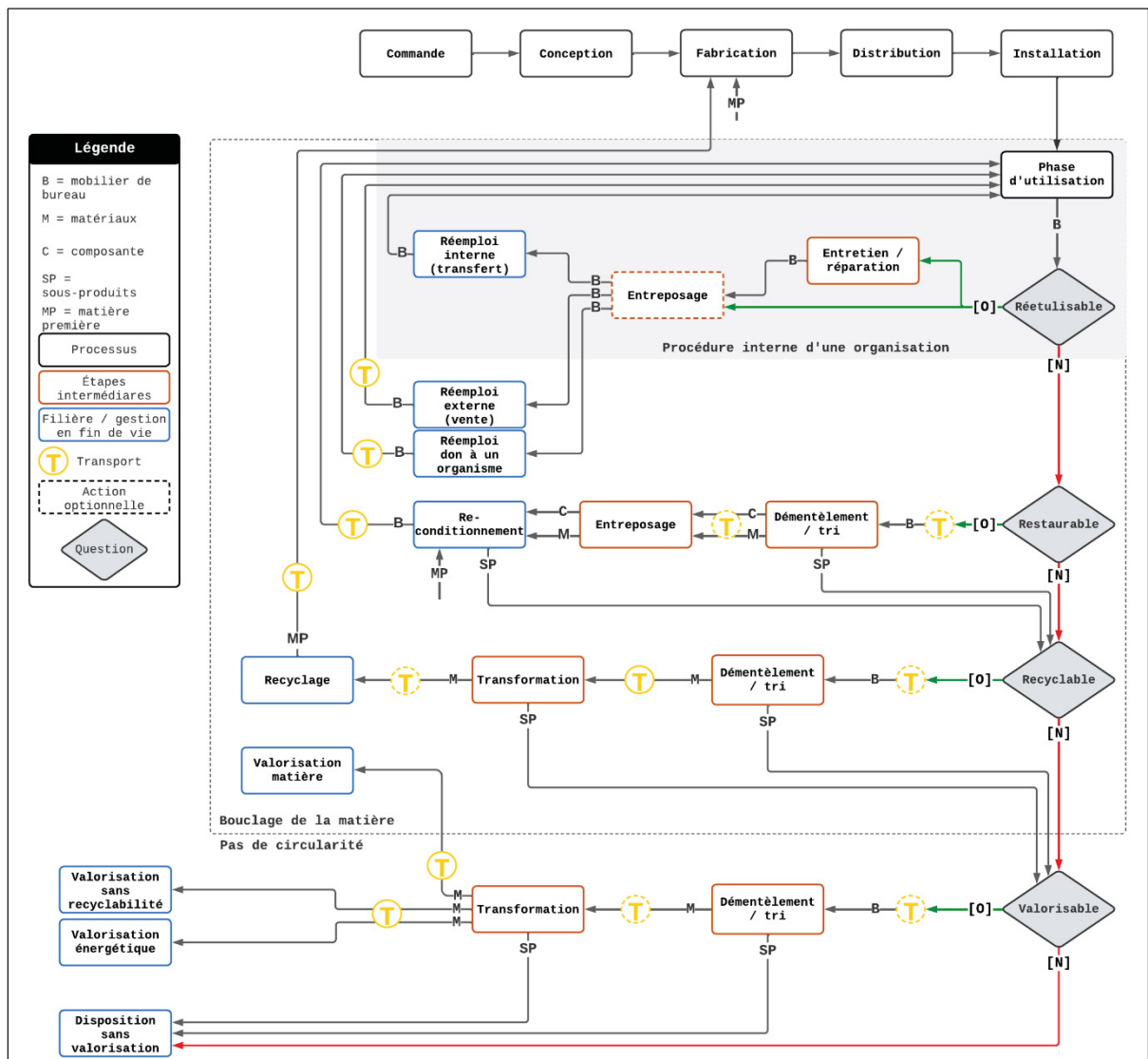


Figure 1.2 Schéma logique du cheminement du mobilier de bureau en fin d'usage
Tiré de Seneclauze et al. (2023)

Chaque solution en fin de vie possède un impact environnemental différent. Pour limiter les impacts, la politique québécoise de gestion des matières résiduelles (Q-2, r. 35. 1) s'engage à suivre le principe des 3RV-E. Ce concept est une hiérarchie de gestion des matières résiduelles

qui met en avant des priorités dans la manière de traiter et de gérer les déchets. Cette politique a pour objectif d'adopter des mesures de développement durable en réduisant la quantité de déchets disposée sans valorisation et en encourageant les meilleures pratiques de gestion des matières résiduelles (Gouvernement du Québec, 2024). L'acronyme 3RV-E correspond, en ordre de priorité, à la réduction, au réemploi, au recyclage, à la valorisation et l'élimination. La réduction à la source permet de réduire la quantité de matière résiduelle produite dans toute la chaîne de valeur. Le réemploi consiste en une utilisation répétée sans transformation importante. Le recyclage, quant à lui, réintroduit la matière dans le même cycle de production après une transformation. La valorisation permet de récupérer l'énergie ou la matière des matières résiduelles pour des produits ou des usages différents. La matière valorisée subit une transformation pour extraire le potentiel de la matière. L'élimination est la solution la moins souhaitable selon le principe des 3RV-E. Avec l'élimination, aucune matière n'est retournée dans le système (MELCCFP, s.d.-b).

1.2.2 Économie circulaire comme approche systémique

L'économie circulaire est un modèle économique qui vise à minimiser l'impact environnemental et à contribuer au bien-être de la société. L'économie circulaire est un système où la matière est conservée le plus longtemps possible dans la chaîne de valeur. La configuration du système circulaire permet davantage d'échange entre les différentes étapes du cycle de vie afin de réduire le gaspillage de ressources. Un double objectif est de mise pour le Québec : repenser les modèles de production et consommation pour réduire la pression sur les écosystèmes ainsi qu'optimiser l'utilisation de ressources déjà en circulation (RECYC-QUÉBEC, s.d.). La Figure 1.3 illustre le schéma sur l'économie circulaire développée par l'institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire (EDDEC) en collaboration avec RECYC-QUÉBEC (2018). Le schéma permet de résumer les principes de base de l'ÉC et de présenter les 12 stratégies d'économie circulaire au Québec.

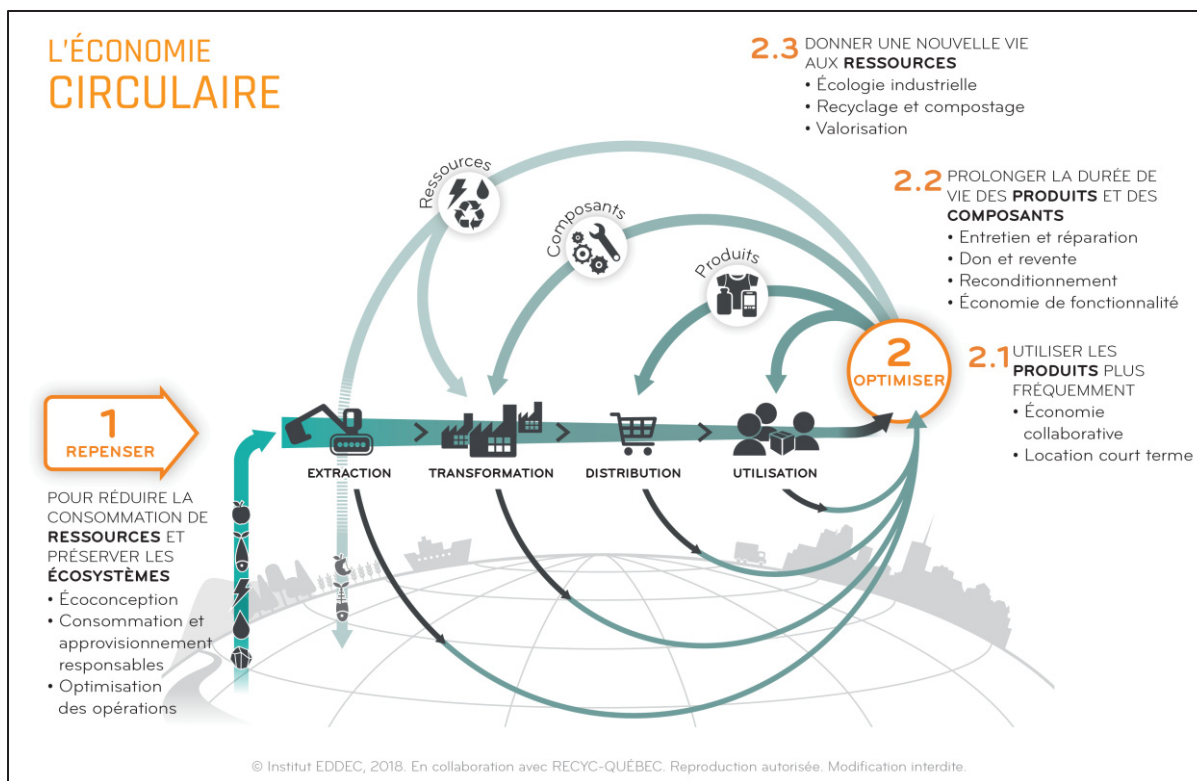


Figure 1.3 Les 12 stratégies d'économie circulaire au Québec
Tiré de RECYC-QUÉBEC (s.d.)

L'économie circulaire repose sur trois stratégies fondamentales : prolonger la vie de la matière, boucler la matière et réduire le flux de ressource. La première consiste à créer des biens avec une longue durée de vie et d'avoir des solutions pour prolonger la durée de vie d'un produit en fin d'usage. Parmi les 12 stratégies de la Figure 1.3, les catégories 2.1 et 2.2 correspondent à cette première stratégie fondamentale. L'entretien, la réparation, le reconditionnement et la vente de seconde main en sont des exemples. L'entretien, la réparation et la vente de seconde main permettent d'allonger la durée de vie du produit et de conserver sa fonction initiale. Le reconditionnement se distingue par le fait que le produit ne reprend pas toujours sa fonction d'origine. De plus, dans la plupart des cas, seule une partie du produit voit sa durée de vie prolongée. En effet, certaines composantes ne sont pas forcément réutilisables. Ces pièces peuvent être remplacées par de la matière première vierges ou secondaire (International Resource Panel, 2018; Sundin & Lee, 2012). Le prolongement de la période d'utilisation conduit à un ralentissement du flux de ressources. La deuxième stratégie cherche à créer des

flux de matière circulaire. Cette stratégie fondamentale s'adresse aux trois solutions de la catégorie 2,3 dans la Figure 1.3 : l'écologie industrielle, le recyclage et la valorisation. La matière en fin d'usage, au lieu d'être disposée, retourne dans la chaîne de valeur sous une forme de matière première. La dernière stratégie fondamentale amène à repenser les techniques afin d'atteindre une utilisation plus efficiente des ressources dans la production (catégorie 1 de la Figure 1.1). L'écoconception est une des pratiques qui représente bien la dernière stratégie (Bocken, De Pauw, Bakker, & Van Der Grinten, 2016). L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) propose neuf axes d'écoconception qui concorde bien avec les stratégies d'ÉC au Québec : écoconception, consommation responsable et optimisation. Les axes d'écoconception de l'ADEME peuvent amener à réfléchir le produit au moment de sa conception pour optimiser et réduire sa consommation en ressource et en énergie, à choisir des matériaux plus écoresponsables, à concevoir le produit pour allonger la durée de vie et à faciliter les traitements en fin d'usage (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), 1999).

1.2.3 Le reconditionnement

Le reconditionnement fait partie des stratégies d'économie circulaire et il figure parmi les 12 stratégies adoptées dans le cadre de l'économie circulaire au Québec (RECYC-QUÉBEC, s.d.). L'Office québécois de la langue française (OQLF), dans son vocabulaire sur l'économie circulaire, définit le reconditionnement de la façon suivante : « remise à neuf d'un produit usagé, ou de l'un de ses composants, effectuée au moyen d'une suite d'étapes standardisées visant à rétablir ses performances ou sa qualité d'origine et à prolonger sa durée de vie. » (OFLQ, s.d.-f) La définition de la Fondation Ellen MacArthur (FEM) ressemble à : le reconditionnement a lieu lorsque l'objet ne peut plus rester en circulation et doit subir des travaux pour être remis en circulation. C'est un travail de réingénierie visant à obtenir un produit ayant le même niveau de performance qu'un produit manufacturé neuf (Fondation Ellen MacArthur, s.d.). Les deux définitions concordent sur l'importance de la qualité du produit reconditionné et sur un travail de transformation supplémentaire à réaliser. La présence du reconditionnement dans le lexique de la FEM ainsi que dans celui de l'OQLF vient réitérer

le fait que le reconditionnement est un processus qui s'inscrit dans une démarche d'économie circulaire. Le reconditionnement entre aussi dans une des trois stratégies fondamentales de l'économie circulaire : prolonger la vie de la matière (Bocken et al., 2016). Un produit ayant perdu son usage contient des composantes avec un potentiel de reconditionnement. Ses composantes, en totalité ou en partie, sont utilisées pour la création d'un nouveau produit. Ainsi, la longévité de ces composantes est accrue (International Resource Panel, 2018; Sundin & Lee, 2012).

Les étapes de reconditionnement commencent généralement par un désassemblage complet du produit. Chaque composante est nettoyée, inspectée et inventoriée au besoin. Certaines pièces endommagées peuvent être réparées. D'autres pièces doivent être usinées (coupé, sablé, etc.) avant d'être utilisables. Quand les composantes sont prêtes, le produit est réassemblé. Le reconditionnement se fait toujours avec un apport en matière première neuve et la quantité peut grandement varier d'une industrie à une autre (International Resource Panel, 2018). Dans son rapport sur les pratiques manufacturières écoresponsable, l'International Resource Panel (IRP) a extrait des données environnementales basées sur trois études de cas. Les études de cas démontrent que le reconditionnement peut réduire le besoin en nouvelle matière première (kg) de 80 à 98 %. La consommation d'énergie évitée par la récupération de la matière s'étend entre 80 % et 99 % en termes de MJ/unité et de kg de CO₂-équ/unité. Dans le cadre du processus de reconditionnement, les réductions d'énergie (en MJ/unité) varient entre 57 % et 87 % (International Resource Panel, 2018).

Au Québec, il y a deux entreprises sont reconnues pour leur travail de reconditionnement de mobilier de bureau : Expert Mobilier et Réseau-Bureautique. Réseau-Bureautique propose trois services principaux : la vente de meubles neufs, de meubles reconditionnés et l'entretien et le nettoyage de meubles. Le reconditionnement constitue la majorité de leur offre. Grâce à une gestion de volumes élevés et une optimisation des procédures, Réseau-Bureautique évite l'approche artisanale pour maximiser l'efficacité et répondre à la demande croissante. L'entreprise débute alors par la récupération de lots de mobilier haut de gamme, réputés pour leur durabilité et leur longévité. Le mobilier de bureau est alors démantelé par composantes

clés. Chaque composante est inventoriée et entreposée dans un grand entrepôt par type de composantes ou de matières. Réseau-Bureautique permet aussi de reconditionner directement le mobilier de ses clients. Lors de chaque reconditionnement, les modifications sont standardisées : revêtements de bois, peinture du métal et travail de finitions pour assurer la qualité du meuble (Réseau-Bureautique, communication personnelle, 16 mars 2023).

Le reconditionnement semble être une solution avantageuse pour l'environnement. Les travaux de Sundin et Lee (2012) démontrent que le reconditionnement est une option préférable aux autres solutions en fin d'usage sur l'aspect environnemental. Leur méthodologie repose sur l'analyse d'articles scientifiques et d'échange avec des chercheurs et des partenaires industriels (Sundin & Lee, 2012).

1.3 Évaluation environnementale

Dans un premier temps, les principes de l'analyse de flux de matière et d'énergie (AFME) sont exposés. Elle permet de connaître le bilan matière ainsi que la circularité du produit à l'étude. En deuxième temps, l'analyse du cycle de vie (ACV) est présentée. L'ACV procure des informations sur les impacts environnementaux. Ainsi, la combinaison des deux outils de mesures permet une évaluation environnementale plus complète.

1.3.1 Analyse de flux de matière et d'énergie

Il existe plusieurs techniques et outils pour réaliser une évaluation environnementale. L'AFM est une technique qui met de l'avant le mouvement de la matière dans un système défini dans le temps et l'espace. L'AFM est une méthode en soi (Brunner & Rechberger, 2004). Certains auteurs comme Alfonso Piña et Pardo Martínez (2014), Kullmann, Markewitz, Stolten, & Robinius (2021) et Zhang, Lu, Wing-Yan Tam, & Feng (2018) incluent l'énergie dans leur AFM devenant une analyse de flux de matière et d'énergie (AFME). L'AFME établit un lien entre l'entrée, le cheminement et la sortie des matières et de l'énergie. Elle correspond à une évaluation systématique. L'AFME est soumise à la loi de la conservation de la masse. Cette loi stipule que dans un système fermé, il y a un balancement des flux. Ainsi, dans le cas de flux

de matière, la masse des intrants et des extrants du système doit être équivalente. L'absence d'une équivalence peut potentiellement indiquer des fuites dans le système. Certains éléments, après l'analyse, sont mis en valeur : le gaspillage de ressource, l'accumulation ou la perte de sous-produits, etc. L'AFME aide à connaître le meilleur angle afin de prendre des mesures d'amélioration (Brunner & Rechberger, 2004).

Une AFM se compose de plusieurs étapes. En général, une AFM commence par la définition du problème et le choix des objectifs. Par la suite, les limites du système sont établies. Les limites s'adaptent au contexte régional et temporel du problème. Les processus et les flux sont sélectionnés afin de créer un système complet. Les flux sont calculés avec les données disponibles. Dans les cas où l'intérêt repose sur la proportion moléculaire de la matière, les concentrations de substances sont calculées pour chaque flux. Pour chaque flux, les incertitudes doivent être prises en compte. Les résultats finaux sont présentés de manière appropriée afin de faciliter la mise en œuvre de décisions (Brunner & Rechberger, 2004).

Ce principe s'adapte à toutes échelles de grandeur, du plus simple processus individuel aux systèmes complexes. À plus grande échelle, Alfonso Piña et Pardo Martínez (2014) ont réalisé une AFME à l'échelle d'une grande ville (Bogotá en Colombie). Des équipes de recherche comme celle de Zhang et al. (2018) se penchent plutôt sur une industrie particulière (construction) à l'intérieur d'une grande ville (Shanghai en Chine). De plus, l'AFME peut être appliqué à de vaste domaine et peut devenir un outil d'aide à décision pour une entreprise ou pour des politiques gouvernementales. Par exemple, les travaux de Mancini, Benini, & Sala (2015) évaluent l'intérêt d'utiliser l'AFM pour de la réglementation. L'étendue des applications d'une AFME peut couvrir la gestion des ressources, du territoire, des matières résiduelles et de l'environnement ainsi que la création de politique d'encadrement. Il reste que les AFME relèvent principalement des domaines reliés à l'environnement : la gestion et le génie de l'environnement, l'écologie industrielle, la gestion des ressources et des matières résiduelles et les métabolismes anthropiques (Brunner & Rechberger, 2004).

L'AFME offre une meilleure compréhension du système. L'outil permet de décrire clairement les flux de matières, les processus et les frontières. Les éléments de plus grande importance, tel que les pertes, les fuites ou les points critiques, autrement non perceptibles, peuvent être facilement identifiés. Une des limites de l'AFME est que les résultats d'une AFME ne permettent pas d'identifier les impacts environnementaux. Afin de finaliser un choix stratégique, il est pertinent d'avoir un type d'évaluation complémentaire. Par exemple : analyse du cycle de vie (impacts environnementaux : changement climatique, acidification, écotoxicité, etc.), comparaison avec des gisements de matière et flux géogénique, étude métabolique du système ou une analyse économique. De plus, les AFME offrent une base de données quantitative pour l'ACV qui permet d'identifier les impacts environnementaux des produits et services (Brunner & Rechberger, 2004; Jolliet, Saade-Sbeih, Shaked, Jolliet, & Crettaz, 2015).

1.3.2 Analyse du cycle de vie

L'ACV est une méthode d'évaluation systématique des impacts environnementaux potentiels d'un produit, d'un service ou d'un processus tout au long de son cycle de vie. Le cycle de vie débute à l'extraction des matières premières nécessaires à sa fabrication et termine à sa fin d'usage. Les impacts de la phase d'utilisation sont aussi inclus dans l'ACV. Cette technique d'évaluation prend en compte plusieurs éléments, tels que les ressources utilisées, les émissions dans l'air, l'eau et le sol, ainsi que les impacts sur la santé humaine et sur les écosystèmes. Cette approche permet d'identifier les étapes du cycle de vie ayant les plus grands impacts environnementaux. Elle permet aussi d'orienter les décisions vers des solutions plus écoresponsables en comparant des produits, des processus ou des systèmes. L'ACV est utilisé par les gouvernements, les entreprises et les consommateurs pour faire face à des décisions d'ordre environnemental, stratégique ou économique (Jolliet et al., 2015).

L'ACV se divise en quatre étapes : la définition des objectifs et du champ de l'étude, l'inventaire des émissions et des extractions, l'analyse de l'impact environnemental et l'interprétation. La définition des objectifs est l'étape préliminaire pour réaliser une ACV. Plus

largement, cette étape sert à poser le problème de définir les objectifs et le champ d'étude. La fonction du système, l'unité fonctionnelle, les scénarios et les limites du système sont tous des éléments à établir avant de continuer le projet. L'évaluation environnementale se base sur la fonction du système et permet d'établir des scénarios comparatifs. Ils doivent avoir la même fonction pour faire une comparaison valide. L'unité fonctionnelle est une mesure quantifiée des performances d'un système et devient l'unité de référence. Les flux de référence correspondent aux quantités de biens ou de services consommés pour remplir la fonction. L'ACV identifie aussi des paramètres clés qui affectent directement l'impact environnemental. Les limites du système déterminent les processus et flux inclus dans le système. Tous les processus et flux nécessaires à la réalisation de la fonction doivent être identifiés. L'inventaire des émissions et extractions correspond à la quantification des émissions atmosphériques, dans l'eau et dans le sol ainsi que de l'extraction des matières premières. L'analyse de l'impact environnemental se fait avec l'appui de l'inventaire des émissions et extractions de l'étape précédente. Cette dernière, à l'aide de méthodes d'analyse d'impact, relie les valeurs d'inventaires aux impacts environnementaux et exprime les résultats finaux. Par exemple, la méthode IMPACT World+ exprime les données de deux façons : les catégories intermédiaires et la catégorie de dommages. Les catégories intermédiaires (Tableau 1.2) reposent sur les principes d'équivalence et présentent les résultats en unité équivalente d'une substance de référence. Les 14 catégories intermédiaires sont : extraction des minerais, écotoxicité des sols, énergie non renouvelable, changement climatique, etc. Les catégories de dommages rassemblent les catégories intermédiaires dans trois plus gros ensembles : la santé humaine, la qualité des écosystèmes et les ressources et services écosystémiques. Finalement, il y a l'étape d'interprétation. Les résultats obtenus à la suite des trois étapes précédentes doivent être interprétés. Les éléments clés de l'étude, les avantages, les désavantages ainsi que les pistes d'amélioration sont mis en évidence. Non seulement, il faut savoir les exprimer de façon claire, il est essentiel de considérer les incertitudes de l'étude. À ce niveau, des études d'incertitude ou de sensibilité peuvent être réalisées. De plus, il est important de garder un œil critique sur les limites de l'ACV et celle des hypothèses émises. (Jolliet et al., 2015)

Combiner l'ACV avec d'autres méthodes d'évaluations, tel que les coûts, l'impact social, la performance économique et la faisabilité permettent d'approfondir la recherche. L'ACV peut être combiné avec l'AFME. Ces deux méthodes sont des évaluations quantitatives axées principalement sur les aspects environnementaux. L'ACV repose sur un modèle multimédia, englobant différentes voies de pollution dans divers environnements. L'ACV se focalise sur l'évaluation des impacts environnementaux, alors que l'AFME est particulièrement utile pour tracer les flux de matière au sein d'un système (Brunner & Rechberger, 2004; Jolliet et al., 2015).

La littérature scientifique contient plusieurs études sur les impacts du reconditionnement qui sont mesurés avec une ACV. Parmi les études, les travaux de Lindahl, Sundin, & Östlin (2006) ont démontré, à l'aide d'une ACV ainsi que d'autres méthodes d'analyse, que le reconditionnement a un moindre impact sur l'environnement. Les résultats sont valides sur les trois produits à l'étude : cartouches d'encre, chariot élévateur et étrier à freins (Lindahl et al., 2006). L'étude de Meister, Sharp, Wang, & Nguyen (2023) se concentre sur le reconditionnement de cathéters dans le domaine de la santé. Dans l'optique d'entrée dans le marché du carbone, l'impact environnemental du reconditionnement des palettes de bois est testé dans l'étude de Liao et al. (2022).

1.3.3 Outils et paramètres pour une analyse du cycle de vie

OpenLCA est un logiciel de source de données ouvertes pour la réalisation d'analyse du cycle de vie. Ce logiciel est gratuit et permet de travailler avec différentes bases de données et méthodes d'analyse. Il permet aussi d'organiser les différents processus et de créer un modèle unique de cycle de vie d'un produit ou d'un procédé (OpenLCA, s.d.).

Ecoinvent est une base de données exploitable par le logiciel OpenLCA. Elle couvre un grand nombre de secteurs : agriculture, foresterie, transport, traitements, métaux, recyclage, etc. Chaque processus est associé à une région géographique spécifique, certains étant accessibles pour le Canada. Lorsque les données disponibles ne permettent pas d'identifier un processus

pour une région spécifique, la représentation reflète alors la production à l'échelle globale (Ecoinvent, s.d. ; Jolliet et al., 2015). Un processus, de la base de données Ecoinvent, exploité par le logiciel OpenLCA, est une unité de base utilisée pour modéliser une activité ou une étape dans un cycle de vie. Il décrit les flux de matières, d'énergie et d'émissions entrant et sortant de cette activité. La base de données peut contenir de nombreux processus pour une même activité, mais sous différents paramètres comme la provenance, l'intensité, le type de procédé, etc. Même lorsqu'un processus semble bien représenté par une activité de l'étude, une vérification est tout de même de mise. La base de données, en plus de l'information dans la référence, offre davantage d'information sur les processus disponible : la limite du système, la qualité des données et la provenance des sources. Il peut arriver de ne pas trouver le processus précis à l'activité recherchée. Il faut alors prendre un processus qui se parente le plus avec l'activité. Les choix des processus pour l'évaluation doivent tous être soutenus par des arguments. (Jolliet et al., 2015)

Feil, de Quevedo, & Schreiber (2015) ont évalué les indicateurs de développement durable pour des petites et moyennes entreprises de meuble au Brésil. Leur objectif a été de sélectionner un ensemble d'indicateurs qui correspondent à l'industrie du meuble. Basés sur une revue de la littérature, les travaux de Feil et al. (2015) ont permis, dans un premier temps, d'identifier 77 indicateurs, dont 37 pour les indicateurs en environnement. Ils ont été recensés parmi 900 indicateurs provenant de 23 articles scientifiques. Les indicateurs les plus pertinents sont les effluents, les émissions, les produits, l'énergie, les matières premières vierges, l'eau, etc. Dans un deuxième temps, l'évaluation de cette première liste d'indicateurs par des experts a finalement permis d'extraire 12 principaux indicateurs (Tableau 1.2). Le contexte industriel de petite ou moyenne entreprise au Brésil est différent de celui au Québec. Cependant, il y a nombreuse similitude. En effet, la chaîne de valeur reste sensiblement la même : extraction des matières premières, transformation en sous-produits, fabrication des meubles, distribution et fin d'usage. Le type de matière première peut varier d'un pays à l'autre, mais le type de sous-produits (bois, panneaux, produits chimiques, plastiques, métaux, etc.) est très semblable. La gestion des matières résiduelles est un élément présent dans les deux cas (Gouvernement du Québec, 2007). Faire la sélection d'indicateurs pour une ACV est inhabituel. Certaines études

font tout de même une sélection des indicateurs d'impact, comme les travaux de Hospido, Moreira, & Feijoo (2003) sur l'analyse du cycle de vie du lait. Ils ont sélectionné six indicateurs d'impact particulièrement pertinents pour l'industrie laitière (Hospido et al., 2003).

Tableau 1.2 Comparaison entre les catégories d'impact intermédiaires de la méthode d'analyse IMPACT World+ et les impacts environnementaux reliés à la filière du mobilier

Catégories d'impacts intermédiaires (Joliet et al., 2015)	Impacts environnementaux du mobilier (Feil et al., 2015)
Climate change, long term	Generation of dangerous waste
Climate change, short term	Waste disposal
Fossil and nuclear energy use	Effluent treatment
Freshwater acidification	Recycling of waste
Freshwater ecotoxicity	Atmospheric emissions [CO _x , NO _x , SO _x]
Freshwater eutrophication	Recycling of products
Human toxicity cancer	Reuse of products
Human toxicity non cancer	Renewable energy consumption
Ionizing radiations	Efficiency of energy consumed
Land occupation, biodiversity	Consuming renewable materials
Land transformation, biodiversity	Adherence to environmental standards
Marine eutrophication	Water consumption
Mineral resources use	
Ozone Layer Depletion	
Particulate matter formation	
Photochemical oxidant formation	
Terrestrial acidification	
Water scarcity	

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

La méthodologie utilisée pour le projet est présentée dans le présent chapitre, qui est divisé en deux principales sections. La première section est consacrée au contexte de l'étude de cas et plus spécifiquement aux raisons justifiant le choix des concepts de meubles reconditionnés et des scénarios retenus ainsi que la définition des limites du système. La deuxième section aborde les deuxième et troisième volets de l'étude, qui portent plus spécifiquement sur l'évaluation environnementale. Les moyens utilisés pour réaliser les évaluations environnementales (AFME et ACV) sont décrits. De plus, les raisons pour lesquelles les indicateurs ont été choisis pour l'étude sont explicitées. La Figure 2.1 présente la structure générale du projet avec ses trois volets.

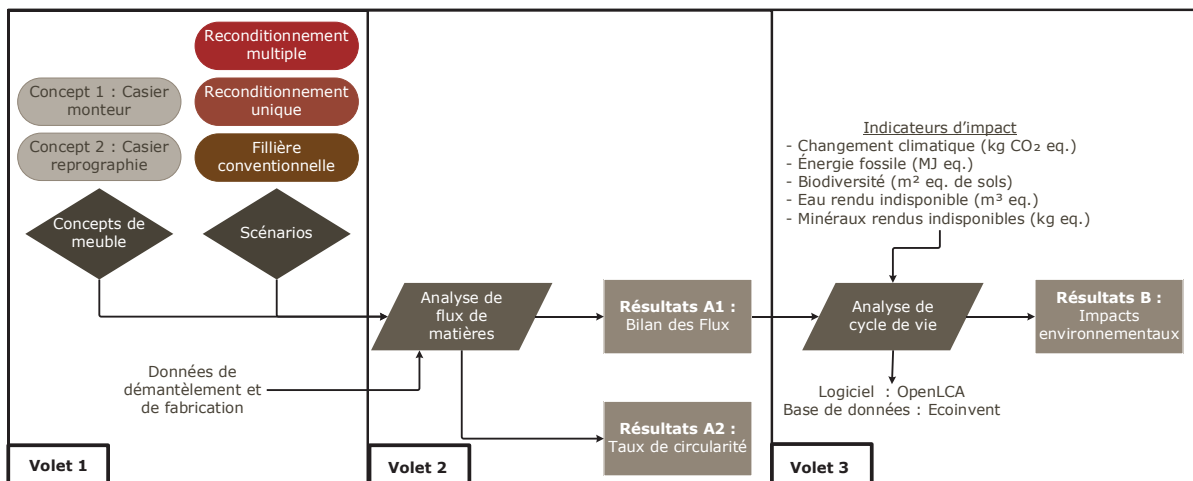


Figure 2.1 Résumé de l'approche méthodologique de l'analyse comparative de scénarios de reconditionnement

2.1 Étude de cas

La première section du chapitre de la méthodologie vise à présenter l'étude de cas. Dans un premier temps, le type de matières premières secondaires issues des bureaux d'Hydro-Québec est mis de l'avant. Dans un deuxième temps, les étapes du reconditionnement ainsi que les caractéristiques des données collectées sont expliquées. Les scénarios comparatifs à l'étude sont, en dernier temps, sont présentés en détail.

2.1.1 Cubicules d'Hydro-Québec

Le projet s'appuie sur une étude de cas associée à un lot de mobilier de bureau appartenant à Hydro-Québec. Les cubicules chez Hydro-Québec (Figure 2.2) contiennent une grande surface de travail en forme de « U » entouré de cloisons, à l'exception de l'entrée du cubicule. Le cubicule vient avec un grand classeur vertical à quatre tiroirs, un petit caisson blanc à deux compartiments et un vestiaire individuel à l'entrée. Chaque cubicule est équipé de quelques étagères murales. Les divers accessoires de bureaux, tels que les bacs rangements, les supports à papiers, le babillard et l'écritoire ne sont pas inclus dans l'étude.

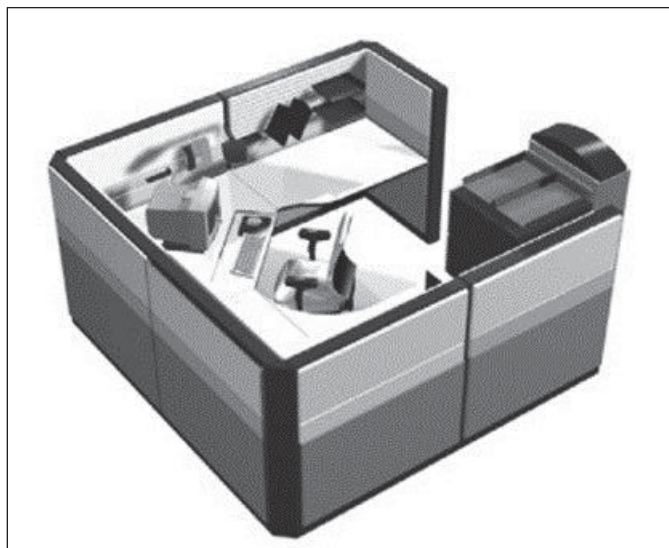


Figure 2.2 Bureau à cloison type dans les bureaux d'Hydro-Québec
Tiré de Hydro-Québec (2022)

Le processus de démantèlement et d'inventaire des multiples cubicules réalisé par INOVEM (2023) a permis d'établir les caractéristiques principales des données recueillies. Les caractéristiques des données de l'inventaire sont disponibles dans le Tableau 2.1. Chaque pièce est pesée et les dimensions sont mesurées. Les dimensions permettent de connaître le volume des composantes. Les différentes pièces qui occupent les cubicules (cloisons, classeurs, étagères et bureau) sont les mêmes pour l'entièreté du lot.

Tableau 2.1 Caractéristiques des données collectées pour l'évaluation environnementale lors de l'inventaire

Inventaire de démantèlement des cubicules
Masse totale d'un cubicule (kg)
Masse (kg) et volume (m ³) des composantes du cubicule
Type de matières des composantes du cubicule (métal, bois, plastique et tissus)

2.1.2 Reconditionnement selon deux concepts de casiers

INOVEM a proposé deux concepts de casier : le casier reprographie et le casier monteur (Figure 2.3). Le casier dédié à la reprographie répond aux besoins de rangement tout en servant de papeterie, tandis que le casier monteur, grâce à ses casiers de grande taille, est idéal pour entreposer les grands sacs des équipes sur le terrain. Des pièces adaptées à la fabrication de casiers, issue des cubicules, ont été sélectionnées pour répondre aux exigences des concepts. La matière première secondaire tirée d'anciens cubicules est illustrée en vert à la Figure 2.3. Pour les deux prototypes, ce sont majoritairement les panneaux de bois (table de bureau, armoires et caissons) qui sont récupérés.

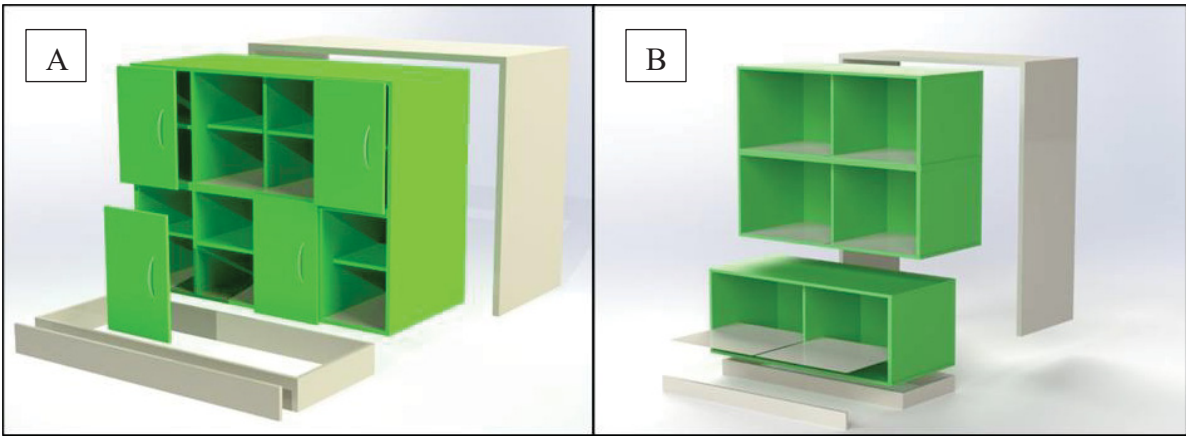


Figure 2.3 Nouveau concept de mobilier de bureau. A : casier reprographie. B : casier monteur

À la conception des casiers, deux outils de collecte de données ont servi à comptabiliser les informations nécessaires à l’évaluation environnementale : la liste de flux et la planification. La liste de flux correspond au flux de la matière. La planification, quant à elle, décrit les étapes de démantèlement et de fabrication des nouveaux meubles. Le Tableau 2.2 présente un résumé du type de données collectées avec chaque outil. Une liste de flux ainsi qu’une planification sont associées à chaque scénario d’évaluation environnementale à l’étude.

Tableau 2.2 Type de données obtenues à l’aide de la liste de flux et de la planification

Liste de flux	Planification de la fabrication
Masse et volumes des matières premières primaires et secondaires (kg et m³)	Temps (h) des appareils utilisés
Masse des matières résiduelles (kg)	Kilowatt (kW) = volt (V) x ampère (A)

Les fiches produits fournissent les dimensions en pouces carrés et les poids. La conversion en kg et m³ est nécessaire. Les matières premières secondaires ont été pesées, et la densité a été utilisée pour les cas nécessitant plus de précision. Les données sur les matières résiduelles sont collectées de manière similaire.

La consommation électrique, exprimée en kWh, dépend de la puissance (kW) de l'appareil utilisé et de sa durée d'utilisation (h). La puissance est obtenue avec l'information fournie par les machines et outils : la tension en volt (V) et l'intensité en ampère (A). Le temps est établi grâce à la planification (Tableau 2.2) du démantèlement du lot de meuble d'origine et de la fabrication des casiers, unique à chaque scénario.

2.1.3 Scénarios

Trois scénarios ont été sélectionnés pour l'étude. D'abord, le premier scénario correspond à la filière conventionnelle (FC), où aucune matière n'est bouclée dans le système. Le casier est fabriqué avec de la matière première vierge. Après la phase d'utilisation, sa destination en fin d'usage est la disposition sans valorisation : enfouissement des matières dans un lieu d'enfouissement technique (LET). Le deuxième scénario, associé au reconditionnement unique (RU), correspond à la fabrication du même casier à partir des cubicules (matières premières secondaires) et d'un apport nécessaire de matière première primaire. Dans ce scénario, le meuble reconditionné, une fois arrivé en fin d'usage, est disposé sans valorisation. Finalement, le troisième scénario de reconditionnement multiple (RM) : le meuble, déjà reconditionné, est reconditionné pour une deuxième fois. Ainsi, certaines matières d'origines (bureau à cloison) vont avoir vécu trois cycles avant d'être finalement disposées sans valorisation.

La Figure 2.4 présente les processus de reconditionnement sous forme de schéma des flux. Les étapes de fabrication, d'utilisation, de tri et de démantèlement constituent le système. Elle met également en évidence la différence entre les trois scénarios en illustrant les flux associés. Les scénarios se distinguent par le type de matière première (secondaire ou primaire) et la source des matières résiduelles. Les lettres A, B, C et D dans la Figure 2.4 représentent des flux. Les flux A et B sont des flux entrants tandis que C et D sont associés aux flux sortants.

Le flux A est associé aux matières premières secondaires (MP_s) issues du démantèlement. Les composantes du flux A proviennent des composantes des cubicules qui serviront à la

fabrication du meuble reconditionné. Le flux B représente l'apport en matières premières primaires (MP_p) pour la fabrication. Les lettres C et D correspondent aux rejets des cubicules d'Hydro-Québec. Il y a deux flux distincts pour les extrants, car ils n'ont pas lieu au même endroit dans le système. Le flux C concerne uniquement le scénario de la filière conventionnelle, car les cubicules sont disposés immédiatement après la phase d'utilisation. Le flux D est pour les rejets des cubicules d'Hydro-Québec à la suite de l'étape de tri. Les étapes de fabrication et de démantèlement génèrent aussi des résidus. Le travail des pièces occasionne des retailles.

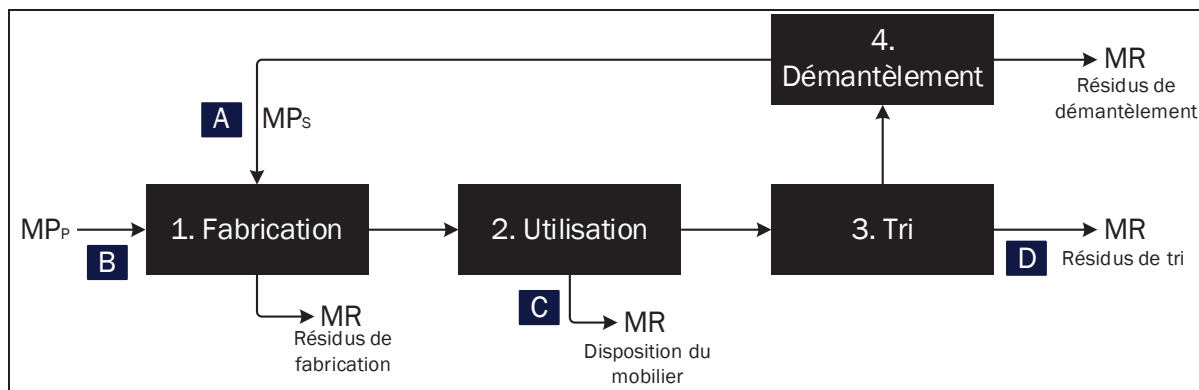


Figure 2.4 Schéma des flux du cycle de reconditionnement

En complément à la Figure 2.4, le Tableau 2.3 explicite les différents flux impliqués dans chaque scénario (première colonne). Chaque flux (A, B, C et D) est exprimé selon les scénarios. Pour le scénario FC, le casier utilise uniquement de la MP_p (flux B) comme intrants. Les extrants de la FC (flux C) sont la totalité des cubicules inexploités. Ils sont donc immédiatement considérés comme des matières résiduelles. Quant au scénario RU, ce dernier utilise une proportion (α) de MP_s utilisables des cubicules (flux A). La proportion de MP_p (α) dans le casier (flux B) sert à fournir les composantes manquantes. Après l'étape du tri, la proportion de MP_s inutilisable (γ) devient une matière résiduelle (flux D). Les MP_s inutilisables sont la partie du cubicule inexploité lors du reconditionnement. Le scénario du RM est identique au scénario 2 en termes de flux de matière. Cependant, le RM se base sur un meuble déjà reconditionné.

Tableau 2.3 Comparaison des scénarios selon les flux

Scénarios	Composition du meuble		Matières résiduelles	
	Flux A	Flux B	Flux C	Flux D
Filière conventionnelle (FC)	s.o.	100 % de MP _p	100 % MP _s	s.o.
Reconditionnement unique (RU)	Une proportion de MP _s utilisable (α)	Une proportion de MP _p ($1-\alpha$)	s.o.	Une proportion de MP _s inutilisable (γ)
Reconditionnement multiple (RM)	Une proportion de MP _s utilisable (β)	Une proportion de MP _p ($1-\beta$)	s.o.	Une proportion de MP _s inutilisable (γ_2)

Le reconditionnement multiple est plus complexe à estimer. Dans le cas de l'étude, des hypothèses ont été formulées pour pallier aux variables inconnues. Les hypothèses, en ordre, sont exprimées selon les équations (2.1), (2.2) et (2.3). La première stipule que les concepts du casier monteurt et du casier reprographie pour le RU sont, respectivement, les concepts pour le RM. La deuxième hypothèse est que deux casiers (RU) sont nécessaires à la fabrication du casier RM. La troisième hypothèse énonce que 50 % de la MP_s (casiers RU) est utilisé pour la fabrication du nouveau mobilier. Le 50 % restant devient une matière résiduelle. Afin d'estimer les valeurs pour le reconditionnement multiple, la composition du casier en MP_p ou en MP_s reste la même que pour le reconditionnement unique (équation 2.4). La proportion de matières résiduelles en provenance des MP_p ou de MP_s est aussi identique à celle du RU (équation 2.5). Ces hypothèses permettent de calculer les masses pour le bilan des flux du scénario de RM.

$$\text{Concept de meuble RU} = \text{Concept de meuble RM} \quad (2.1)$$

$$2 \text{ casier RU} = 1 \text{ casier RM} \quad (2.2)$$

$$50 \% \cdot 2 \text{ casier RU} + \text{MP}_p = 1 \text{ casier RM} + \text{MR} \quad (2.3)$$

$$\text{Composition casier RU } (\alpha) = \text{composition casier RM } (\beta) \quad (2.4)$$

$$\text{MR}(\text{fab})\text{RU } (\gamma) = \text{MR}(\text{fab})\text{RM } (\gamma_2) \quad (2.5)$$

2.2 Évaluation environnementale

L'évaluation environnementale du reconditionnement du mobilier de bureau repose sur une analyse de flux de matières et d'énergie (AFME) couplée à une analyse du cycle de vie (ACV). Cette section présente, plus spécifiquement, les deux méthodes déployées dans le cadre du projet.

2.2.1 Analyse des flux de matière et d'énergie

En s'appuyant sur le système établi, les intrants et extrants sont identifiés pour chaque processus. Ce système inclut les processus de fabrication, d'utilisation, de tri, de démantèlement et de préfabrication. L'AFME est réalisé en quantifiant les intrants et extrants. La Figure 2.5 présente les flux du système en fonction des différents scénarios.

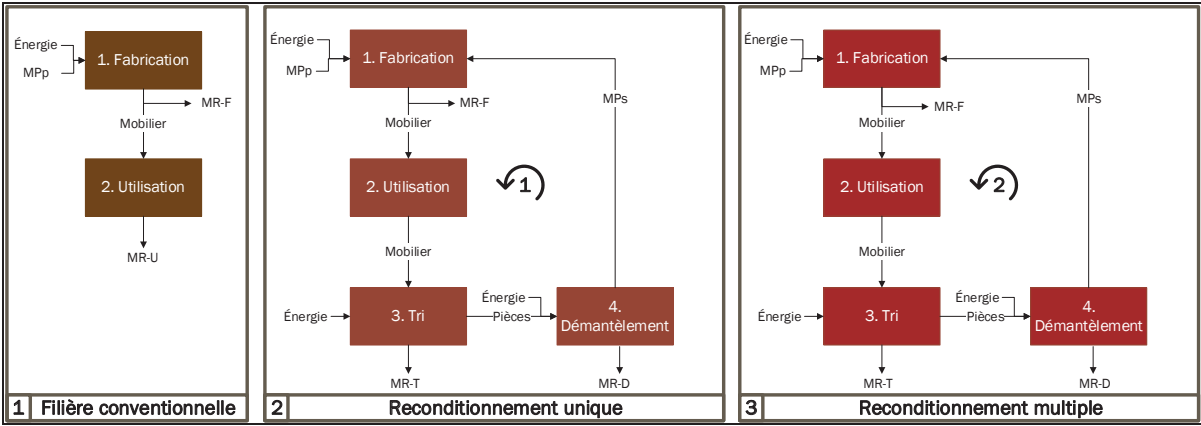


Figure 2.5 Schéma des flux pour les trois scénarios

Les flux intrants correspondent à la matière première primaire, la matière première secondaire (uniquement pour les reconditionnements) et la consommation électrique. En termes d'extrants, les flux considérés sont le mobilier de bureau et les matières résiduelles. Les matières résiduelles de la fabrication (MR-F) sont issues des rejets d'usinage. Le mobilier de bureau, après sa fabrication, est transporté chez le client (phase d'utilisation). Le flux extrant de la phase d'utilisation (lot entier de mobilier) devient une matière résiduelle (MR-U) dans le

cas du scénario FC. Dans les deux autres scénarios, le mobilier passe d'abord par le processus de tri. Le tri est réalisé sur place, ne nécessitant donc pas de transport. La consommation électrique est incluse dans le tri, considérant que certains outils peuvent aider à séparer des pièces du lot initial de mobilier. Le reste des pièces du lot initial de mobilier non sélectionné (proportion inutilisable), à l'étape du tri, sont considérées comme des matières résiduelles (MR-T). Le lot initial pour le scénario RU est trois cubicules et pour le scénario RM correspond à deux casiers. Le processus de démantèlement possède les mêmes flux que le processus du tri. Le tri et le démantèlement des matériaux se font à des endroits différents. Le tri est réalisé dans les bureaux d'Hydro-Québec. Seules les composantes utilisables suivront à l'étape de démantèlement qui est à la même place que la fabrication. Les retailles de démantèlement deviennent de la matière résiduelle (MR-D). Chaque flux du système, à l'exception de la consommation électrique, est sujet au transport. Le Tableau 2.4 explicite les unités de mesure pour les flux du système. Une description plus détaillée de chaque flux est présentée dans les prochains paragraphes.

Tableau 2.4 Unité de mesure pour chaque flux du système de la filière du mobilier de bureau

Flux	Unité
Consommation électrique	kWh
Matière première primaire et secondaire	kg ou m ³
Matière résiduelle	kg
Transport	tonne·km

Le transport, mesuré en tonne·km, se base sur des hypothèses de distance moyenne. Les trajets sont faits par bateau et par camion. La distance de chaque MP_p est estimée selon leur provenance principale. La distance parcourue par les MP_s entre les locaux d'Hydro-Québec et l'organisation responsable du reconditionnement est de 9 km. La localisation des bureaux d'Hydro-Québec qui recevront les mobiliers de bureau est également déterminée. L'étude considère deux lieux d'usage pour les meubles reconditionnés qui sont distants de 28 et 37 km du lieu de reconditionnement. La distance parcourue par le mobilier en fin d'usage est basée sur une distance moyenne des LET qui desservent la région de Montréal. L'ANNEXE I présente la distance moyenne estimée pour chaque matière.

L'analyse de flux de matière permet d'obtenir un bilan des flux sur la matière ainsi que le taux de circularité. En ce qui concerne, le bilan des flux, la première étape pour réaliser le bilan des flux consiste à définir les frontières du système étudié. Dans le cas de l'étude, les frontières s'étendent aux trois scénarios comparatifs de la FC, du RU et du RM présenté dans la Figure 2.5. Les flux d'entrées et de sortie, exprimés en kilogramme, sont classés en différentes catégories. D'une part, les matières premières primaires (MP_P) et le lot de mobilier initial sont les intrants principaux. Dans le contexte du RU et RM, le lot de mobilier initial se divise en deux sous-catégories : les matières premières secondaires (MP_S) et les résidus de tri. Les résidus de tri sont la matière qui n'est pas sélectionnée pour le reconditionnement en cours. Ils conservent tout de même un potentiel de réutilisation. D'autre part, les extrants du bilan sont le mobilier fini (neuf ou reconditionné), les résidus de fabrication issus des MP_P et des MP_S ainsi que la partie de cubicules non utilisables. Le taux de circularité, quant à lui, prend en considération le lot initial de mobilier, c'est-à-dire, trois cubicules pour le RU et deux casiers pour le RM. À travers les étapes de tri, de démantèlement et de fabrication, une partie de la matière est perdue. À chaque étape, la masse de la partie conservée est mesurée, jusqu'à obtenir le pourcentage final de matière récupéré, dans le mobilier fini, en provenance du lot initial.

2.2.2 Analyse du cycle de vie

L'évaluation de l'impact environnemental des trois scénarios présentés repose sur la méthode d'analyse du cycle de vie. L'unité fonctionnelle correspond à la fabrication de deux casiers, soit le casier monteuse et le casier reprographie, dans le contexte des trois scénarios. Le présent travail s'inspire grandement de cette technique dans son ensemble. La méthode utilisée dans l'étude reprend les étapes de l'ACV. Les résultats de la méthode d'évaluation IMPACT World+ peuvent être exprimés en catégories intermédiaires et catégories de dommages. Les résultats de la présente étude sont exprimés selon les catégories intermédiaires, mais ce ne sont pas toutes les catégories qui ont été sélectionnées. Ce sont les catégories les plus pertinentes qui sont utilisées pour l'évaluation.

Le Tableau 2.5 illustre les processus sélectionnés pour chaque flux dans le logiciel OpenLCA. La base de données Ecoinvent, utilisée dans OpenLCA, fournit des données environnementales associées à chaque processus. Le Tableau 2.5 indique les processus de matières premières, d'énergie, de gestion des matières premières et de transport impliqué dans l'évaluation environnementale.

Tableau 2.5 Processus Ecoinvent (version 3.7) sélectionnés pour l'analyse d'impact environnemental
Tiré de Ecoinvent (s.d.)

Matières premières	Processus de la base de données Ecoinvent
Électricité	
Réseau électrique	Electricity, high voltage, production mix electricity, high voltage Cutoff, S - CA-QC
Matières premières	
Mélamine	Melamine impregnated paper production paper, melamine impregnated Cutoff, S - RER
Stratifié	Melamine impregnated paper production paper, melamine impregnated Cutoff, S - RER
Contreplaqué en merisier	Plywood production plywood Cutoff S CA-QC
Panneau de particule	Particleboard production, uncoated, average glue mix particleboard, uncoated Cutoff, S - RER
Masonite	Fibreboard production hard fibreboard hard Cutoff S RER.xlsx
Backing	Melamine impregnated paper production paper, melamine impregnated Cutoff, S - RER
Polychlorure de vinyle	Melamine impregnated paper production paper, melamine impregnated Cutoff, S - RER
Quincaillerie	Steel production, chromium steel 18/8, hot rolled steel, chromium steel 18/8, hot rolled Cutoff, S - RER
Acier inoxydable	Steel production, chromium steel 18/8, hot rolled steel, chromium steel 18/8, hot rolled Cutoff, S - RER
Aluminium	Aluminium alloy production, ALLi aluminium alloy, ALLi Cutoff, S - CA-QC
Matières résiduelles	
Lieux d'enfouissement technique	Treatment of municipal solid waste, sanitary landfill municipal solid waste Cutoff, S - CA-QC
Transport	
Camion	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 Cutoff, S - RER
Bateau	Transport, freight, sea, container ship transport, freight, sea, container ship Cutoff, S - GLO

Les indicateurs d'impact (Tableau 2.6) sont inspiré de Feil et al. (2015). L'analyse du cycle de vie se base sur les sept indicateurs d'impacts pour comparer les différents scénarios à l'étude. Les catégories d'impact ont été choisies en s'appuyant sur les travaux de Feil et al. (2015). Parmi les 17 catégories d'impact proposées par IMPACT World+, seules celles correspondant à celles mentionnées dans l'article ont été retenues. Cette technique a aussi été employée dans les travaux de Hospido et al. (2003) sur l'analyse du cycle de vie du lait. Ils ont choisi six indicateurs d'impact qui correspondent le plus à l'industrie laitière. Pour plus de détail sur les définitions des indicateurs, elles sont présentées à l'ANNEXE II.

Tableau 2.6 Catégories d'impacts sélectionnées pour l'analyse

Catégorie d'impact	Unité de pollution
Changement climatique, court terme	kg CO ₂ éq.
Changement climatique, long terme	kg CO ₂ éq.
Utilisation d'énergie nucléaire et fossile	MJ
Occupation des terres, biodiversité	m ² terre arable éq.an
Transformation des terres, biodiversité	m ² terre arable éq.
Utilisation de ressource minérale	kg
Rareté de l'eau	m ³ éq.

Pour chaque catégorie d'impact, un facteur d'émission est associé à un flux de matière ou d'énergie. Le facteur d'émission multiplie le flux pour obtenir l'impact environnemental selon la catégorie d'impact. L'équation (2.6) exprime cette relation.

$$I_c = F_e \cdot F_m \quad (2.6)$$

où :

- I_c : impact environnemental selon la catégorie d'impact (kg CO₂ éq., MJ, m² terre arable eq.an, m² terre arable éq., kg, m³ éq.);
- F_e : facteur d'émission;
- F_m : flux de matière ou d'énergie (kg, m³, tkm, kWh).

CHAPITRE 3

RÉSULTATS

Le chapitre 3 présente les résultats de l'étude. L'analyse comparative de scénario permet d'extraire trois résultats : le bilan des flux, le taux de circularité ainsi que les impacts environnementaux. Les résultats s'appliquent au casier monteure et au casier reprographie pour les trois scénarios à l'étude : la filière conventionnelle, le reconditionnement unique et le reconditionnement multiple.

3.1 Analyse comparative de scénarios

Les résultats de cette section sont divisés en trois segments. Premièrement, le bilan des flux de matière, obtenu à la suite d'une AFME, est exposé. Le flux de matière prend en compte les matières primaires et secondaires consommées ainsi que les rejets générés lors de la fabrication. Deuxièmement, les résultats de l'AFME permettent aussi d'exprimer le taux de circularité. Celui-ci s'intéresse plutôt à la proportion du lot de matière initial récupéré avec les prototypes proposés. Troisièmement, les impacts environnementaux sont calculés avec l'ACV. L'analyse comparative de scénarios a été réalisée avec la collecte et l'application des données. Les tableaux en ANNEXE III présentent les résultats de la collecte de données. Un schéma des flux est proposé pour chaque meuble (casier monteure et casier reprographie) selon chaque scénario (filiale conventionnelle, reconditionnement unique et multiple). Les schémas des flux permettent d'obtenir le bilan des flux de matière ainsi que le taux de circularité. L'évaluation environnementale est basée sur les schémas des flux ainsi que sur les facteurs d'émissions des flux selon les sept indicateurs d'impacts. Les facteurs d'émissions se retrouvent en ANNEXE IV.

3.1.1 Bilan des flux de matière

Le bilan des flux impliqués pour chacun des trois scénarios (filiale conventionnelle (FE), reconditionnement unique (RU) et reconditionnement multiple (RM) pour les deux types de

mobilier (casier monteur et casier reprographique) se sont d'abord appuyés sur les masses pesées lors de l'activité de démontage de trois cubicules récupérés chez Hydro-Québec. Par ailleurs, les concepts des mobiliers ont permis d'identifier la part des cubicules qui pouvaient être reconditionnés ainsi que la part de matières premières primaires nécessaires à la complétion des casiers. L'exercice du bilan de flux sert à comparer les différents apports en matière première (primaire ou secondaire). Il exprime aussi la quantité de matières résiduelles issues des étapes de démantèlement (reconditionnement uniquement) et de fabrication. Le bilan des flux fournit également des informations sur la composition en matière du meuble final.

Les résultats du bilan des flux (A1) sont exprimés avec un diagramme de Sankey. La Figure 3.1 et la Figure 3.2 présentent les résultats pour le casier monteur et le casier reprographie respectivement. Les figures permettent de visualiser les flux de matières. Les deux intrants de matière dans la filière du mobilier de bureau sont la matière première primaire (MP_P) et la matière première secondaire (MP_S). Les extrants correspondent au meuble fini et aux matières résiduelles. Une troisième catégorie d'intrant s'ajoute au diagramme : les cubicules dans les scénarios FE et RU et le casier pour le scénario RM. Les cubicules sont considérés comme de la MP_S pour le reconditionnement. Pour les deux premiers scénarios, la MP_S est constituée de cubicules. Le casier monteur et le casier reprographie, dans le scénario du reconditionnement unique, nécessitent chacun trois cubicules afin d'être fabriqués. Ce ne sont pas toutes les pièces du cubicule qui sont utilisables. En effet, un grand pourcentage des cubicules ne servent pas au prototype final du casier monteur et sont considéré comme de la matière résiduelle. L'intrant des trois cubicules se retrouve aussi dans le scénario de la filière conventionnelle. À des fins d'équivalence de scénarios, les cubicules, qui dans le scénario RU sont utilisées en partie, sont directement considéré comme une matière résiduelle. La filière conventionnelle ne réutilise aucune matière, ainsi les trois cubicules sont disposés. Pour le reconditionnement unique, c'est la partie non utilisable des cubicules à la suite du tri qui est éliminé.

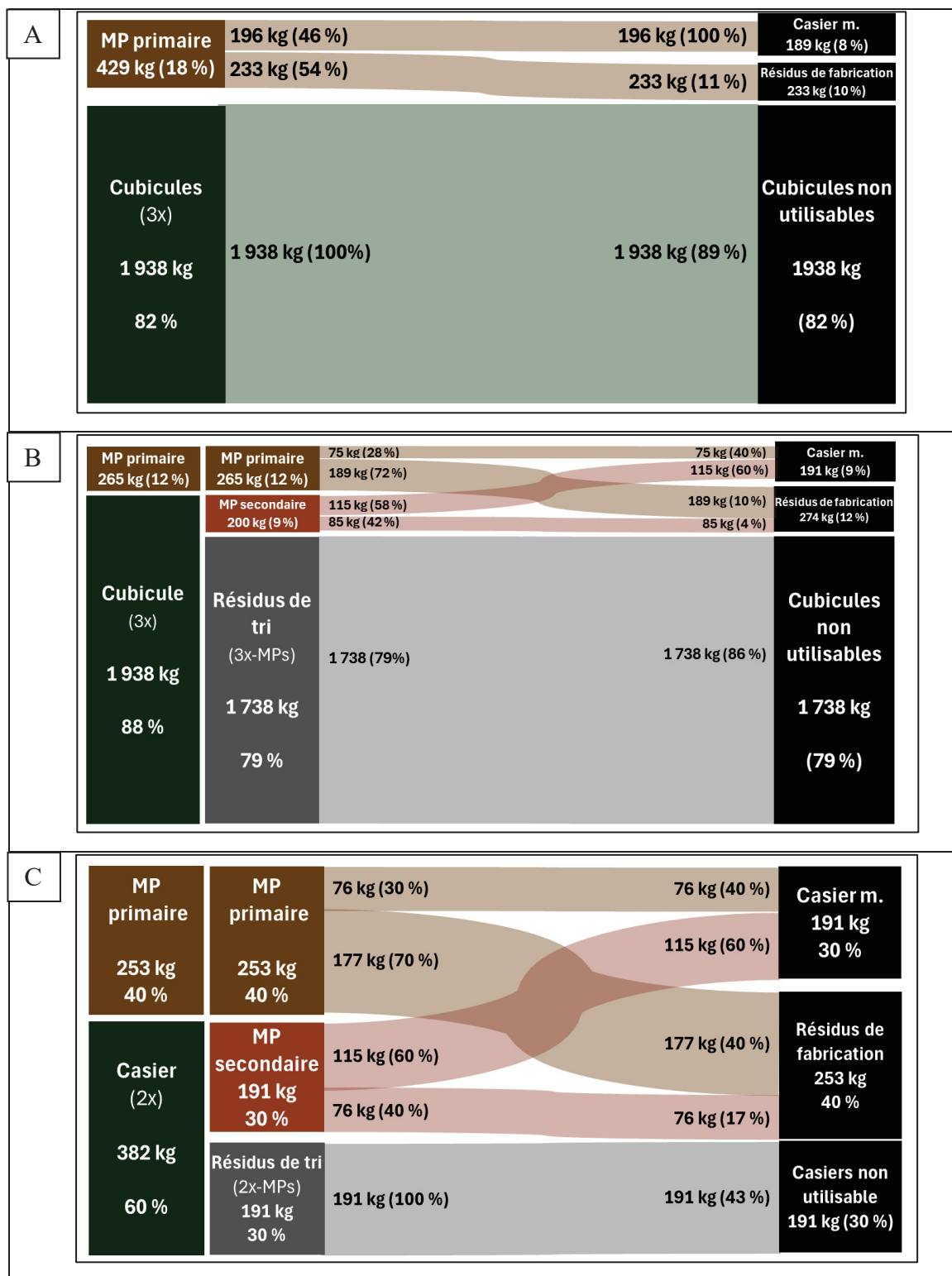


Figure 3.1 Bilan des flux pour le casier monteuse selon les différents scénarios : (A) filière conventionnelle; (B) reconditionnement unique; (C) reconditionnement multiple

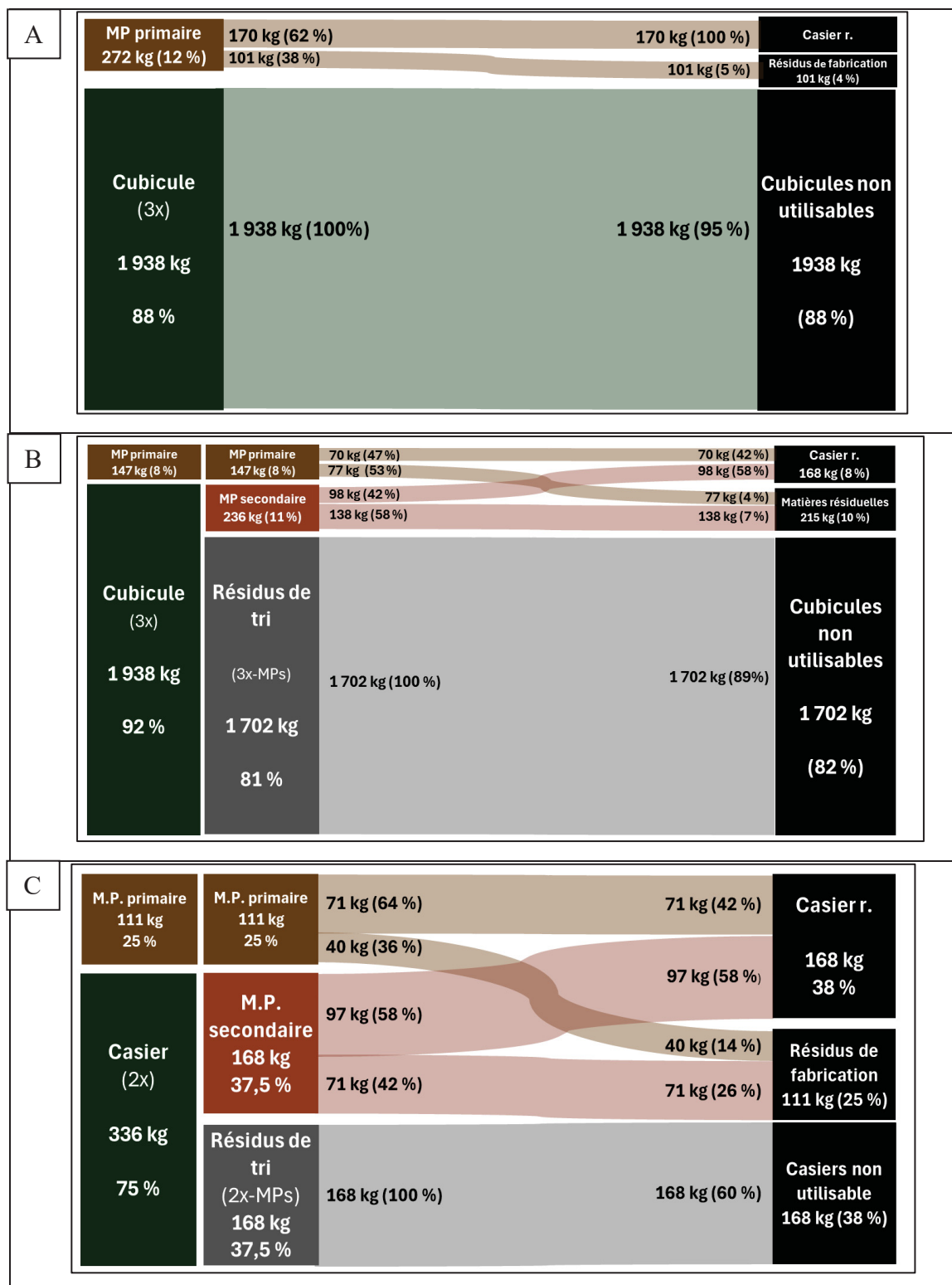


Figure 3.2 Bilan des flux pour le casier reprographie selon les différents scénarios : (A) filière conventionnelle; (B) reconditionnement unique; (C) reconditionnement multiple

Dans le cas d'un reconditionnement multiple, l'évaluation environnementale se base sur cinq hypothèses posées dans le chapitre sur la méthodologie. Deux hypothèses, parmi les cinq, nécessitent les résultats du bilan des flux du reconditionnement unique pour être complétées. Le scénario de RM reprend les proportions de la composition du meuble (équation (3.1) et (3.3)) et les proportions des matières résiduelles (fabrication) du RU (équation (3.2) et (3.4)). Par déduction, les différentes masses du bilan des flux sont calculées. La masse des MP_S est connue et elle équivaut à deux casiers. À la phase du tri, 50 % des MPS sont conservés pour être reconditionnés. L'autre 50 % devient une matière résiduelle. La masse du casier final est la même que pour le casier RU. En connaissance de la composition du casier final en pourcentage de MP_P ou en MP_S (équation (3.1)), la masse de chaque est identifiable. Avec la masse des MP_S (intrants) et la composition en MP_S du meuble final, la quantité de matières résiduelles issues des MP_S est identifiée. L'équation (3.2) permet maintenant de connaître la masse des matières résiduelles en provenance des MP_P. L'addition de la composition des MP_P du casier final à celle de la quantité de matières résiduelles (MP_P) équivaut à la masse des intrants pour la MP_P. Par une série de proportions et de produit croisé, un bilan des masses peut être établi. Les équations (3.1) et (3.2) concernent le casier monteur et les équations (3.3) et (3.4) au casier reprographie.

$$\text{Composition du casier monteur RU} = 40 \% MP_P + 60 \% MP_S \quad (3.1)$$

$$MR (fab) \text{ du casier monteur RU} = 70\% MP_P + 30 \% MP_S \quad (3.2)$$

$$\text{Composition du casier reprographie RU} = 42 \% MP_P + 58 \% MP_S \quad (3.3)$$

$$MR (fab) \text{ du casier reprographie RU} = 64 \% MP_P + 36 \% MP_S \quad (3.4)$$

Les différents flux des diagrammes n'ont pas les mêmes amplitudes. En ce qui concerne les extrants, la proportion de matières résiduelles est supérieure à celle des casiers finis (monteur et reprographie) pour les trois scénarios. La proportion de matières résiduelles pour le casier monteur correspond à 92 % pour la FE, 91 % pour le RU et à 71 % pour le RM. Les proportions

pour le casier reprographie sont de 92 %, 92 % et 62 % respectivement. La grande quantité d'intrants, spécialement de MP_S (cubicules), fait en sorte que la quantité de rejets augmente aussi. Le lot initial (trois cubicules) représente une masse importante de matière en comparaison avec un simple meuble (CM ou CR). La réduction supplémentaire de 20 % (CM) et de 30 % (CR) pour le reconditionnement multiple peut s'expliquer en partie par la masse du lot initial (2 casiers de 191 kg ou 168 kg) étant plus petite que celle du reconditionnement unique (3 cubicules de 646 kg). Le lot initial et la proportion de matière récupérée ont une influence sur la quantité de matière résiduelle.

La Figure 3.1 et la Figure 3.2 montrent les proportions de MP_P ou de MP_S que contient le meuble. Pour la filière conventionnelle, le meuble est conçu à 100 % de MP_P. En ce qui concerne le reconditionnement unique, le casier monteurest fabriqué à 40 % de MP_P et 60 % des MP_S. Les proportions sont de 42 % de MP_P et 58 % MP_S pour le casier reprographie. Pour le scénario reconditionnement multiple, les compositions sont les mêmes que pour le reconditionnement unique.

La proportion de matière première utilisable varie grandement. Les résultats témoignent d'une variation allant de 28 % à 64 % pour la MP_P et de 42 % et 60 % pour la MP_S. Le reste des MP sont disposés sans être valorisés. La récupération d'anciens meubles dans le projet de reconditionnement peut limiter les possibilités, car les pièces sont déjà taillées d'une pièce originale. De plus, un meuble sur mesure n'est pas nécessairement conçu avec des pièces standardisées qui permettent d'optimiser la matière.

Les résultats (A1) de l'étude démontrent un déséquilibre dans les proportions des flux de matière. Le déséquilibre se reflète par dans la masse de matière résiduelle et la masse des casiers finale. Considérant le lot initial, un seul meuble peut difficilement consommer l'entièreté des cubicules. L'utilisation de la matière du lot de mobilier initial n'a pas été optimisée, car peu d'éléments des cubicules ont été réutilisés. D'une part, la masse des trois cubicules équivaut à 1938 kg en comparaison avec le casier monteurest à 189 kg et le casier reprographie à 168 kg. D'autre part, la masse du casier représente 9 % et 8 % respectivement

de la masse des extrants. Globalement, le bilan des flux offre une perspective sur les matières résiduelles et sur l'importance de la conception. Contrairement aux réemplois, seulement une partie de la matière est récupérée. L'exercice actuel a été réalisé dans l'optique de combler les besoins du client plutôt que de créer un mobilier qui optimise la matière. Ainsi, un déséquilibre entre le flux de matières résiduelles et celui du mobilier de bureau est notable. De plus, dans les matières premières, la quantité utilisée dans le produit final varie beaucoup et peut être aussi faible que 28 % dans certains cas.

3.1.2 Taux de circularité de la matière

Sur la base de l'AFME, le bilan des flux de matières permet de déterminer le taux de circularité (A2) qui correspond au pourcentage total des cubicules réutilisés dans les casiers. L'étape de tri permet de sélectionner la matière utilisable pour le reconditionnement. Après l'étape de démantèlement et de fabrication, les réelles composantes du meuble subsistent. La filière conventionnelle, n'ayant aucun retour de la matière, possède un taux de circularité de 0 %. Le taux de circularité est mesuré pour le reconditionnement unique et multiple. Les résultats pour le casier monteur sont exprimés à la Figure 3.3.

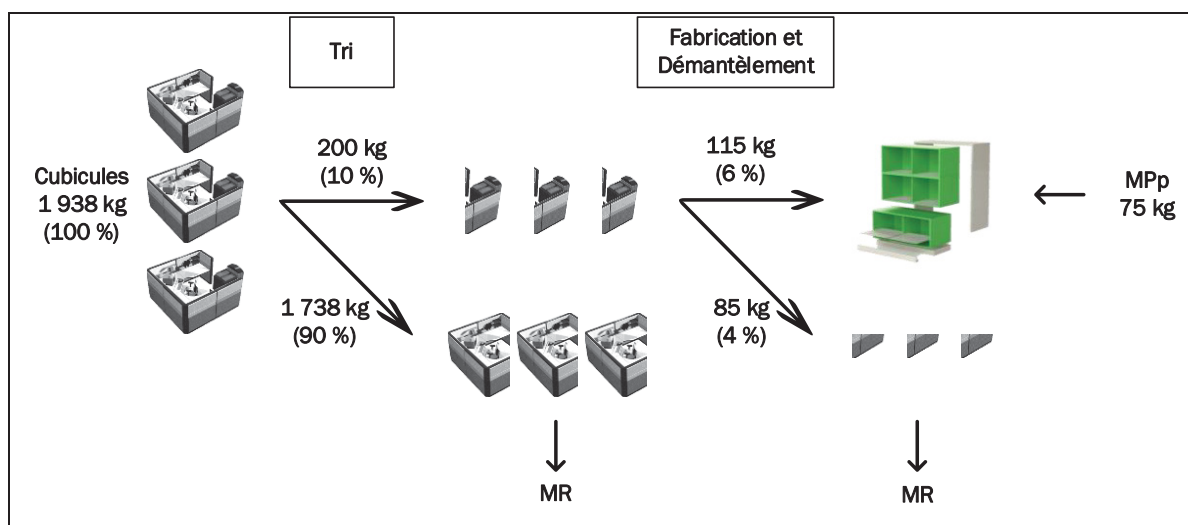


Figure 3.3 Taux de circularité de la matière pour le casier monteur (reconditionnement unique)

Comme la Figure 3.3 l'illustre, le tri permet de conserver 10 % de matières premières secondaires en provenance des cubicules. Le reste des pièces, à la hauteur de 90 % de MP_s, deviennent donc des résidus. Les étapes de démantèlement et de la fabrication ont éliminé un 4 % de matière supplémentaire. Dans la totalité des cubicules, 6 % de MP_s sont utilisables pour le casier monteur. Ce pourcentage montre qu'une faible proportion du lot de mobilier initial est recirculé. Pour le casier reprographie, le taux de circularité est exprimé dans la Figure 3.4. Les résultats sont similaires au casier monteur. Le taux de circularité pour le casier reprographie est de 5 %.

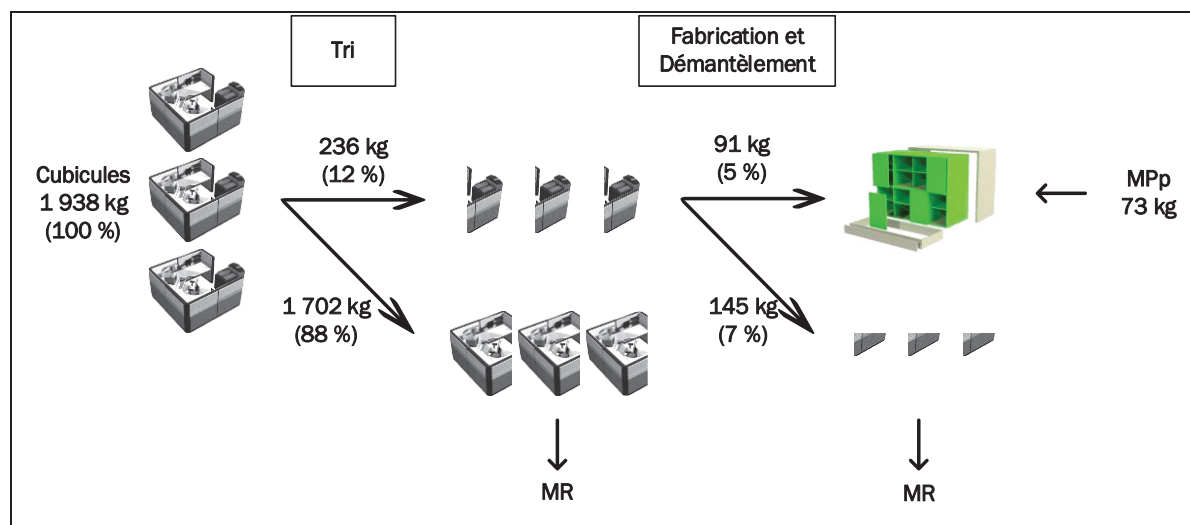


Figure 3.4 Taux de circularité de la matière pour le casier reprographie (reconditionnement unique)

L'ANNEXE V regroupe les résultats pour le reconditionnement multiple. Avec une hypothèse d'utilisation de 50 % de deux casiers, les taux de circularité sont de 30 % pour le casier monteur et de 29 % pour le casier reprographie. Le taux de circularité augmente de plus de 25 % en comparaison avec le reconditionnement unique.

La performance circulaire du reconditionnement (résultats A2) est faible. Les évaluations ont été réalisées sur un prototype seulement, atteignant des taux de circularité de 6 % pour le casier monteur et 7 % pour le casier reprographie. Puisqu'aucune pièce ne se chevauche entre les deux concepts, ensemble, ils couvrent 12 % des trois cubicules. La conception des meubles a

été réalisée en accord avec les besoins du client. Cette stratégie a conduit à une utilisation sous-optimale des ressources disponibles. Pour maximiser le potentiel du lot initial, la conception doit mettre l'accent sur l'optimisation de la matière première secondaire. Les stratégies pour minimiser le gaspillage, tout en continuant à satisfaire les besoins du client, doivent être repensées. En augmentant le nombre de prototypes, le flux de matière est mieux équilibré. Les rejets de MP_s vont alors diminuer. Utiliser un meilleur ratio, soit 2 ou 1 cubicule pour 1 casier, permet aussi de réduire la quantité de MP_s à éliminer. En soi, le surplus est un gisement exploitable. L'étude actuelle considère le surplus comme une matière résiduelle qui est disposé sans valorisation. Dans le contexte québécois de la filière de mobilier de bureau, le mobilier est en grande partie destiné à l'enfouissement.

3.1.3 Évaluation environnementale

Le troisième volet de l'étude porte sur l'évaluation des impacts environnementaux (B) des trois scénarios. L'évaluation s'appuie sur les flux de matière et d'énergie précédemment mesurées avec l'AFME. Chaque flux possède des facteurs d'émissions associées à sept indicateurs d'impacts : changement climatique à court et long terme, utilisation d'énergie nucléaire et fossile, biodiversité avec l'occupation et la transformation des terres, utilisation de ressource minérale et rareté de l'eau. La Figure 3.5 et la Figure 3.6 illustrent les résultats des trois scénarios pour les sept indicateurs d'impact choisi pour l'analyse. Sur l'axe des abscisses se trouvent les trois scénarios : filière externe, reconditionnement unique et multiple. Les résultats, selon l'unité de l'indicateur, apparaissent sur l'axe des ordonnées de droite. À gauche, les résultats sont exprimés en pourcentage. Le scénario de la filière conventionnelle (FC) est considéré comme le scénario de base, où les impacts sont les plus élevés.

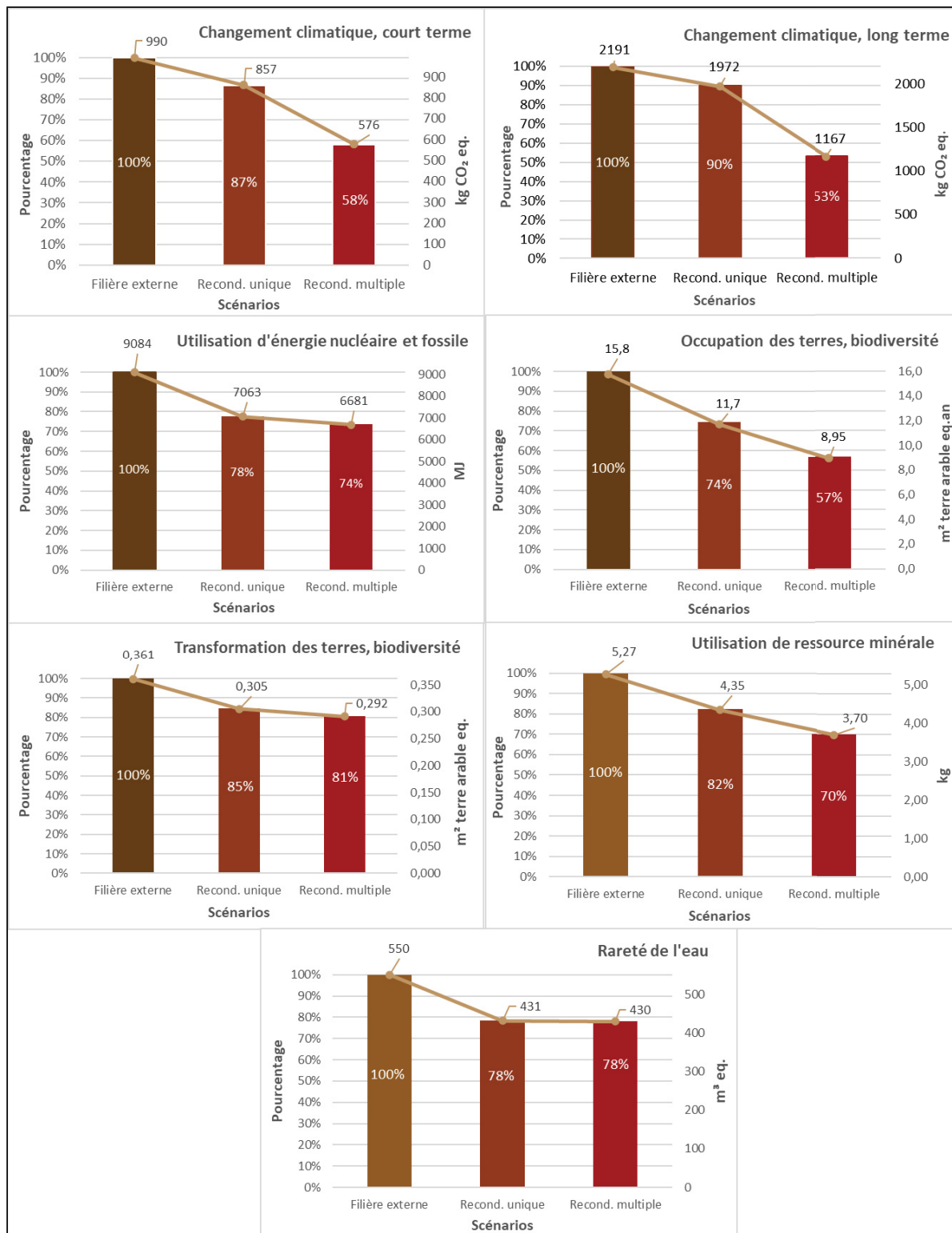


Figure 3.5 Impacts environnementaux pour le casier monteuse des différents scénarios selon sept indicateurs d'impacts

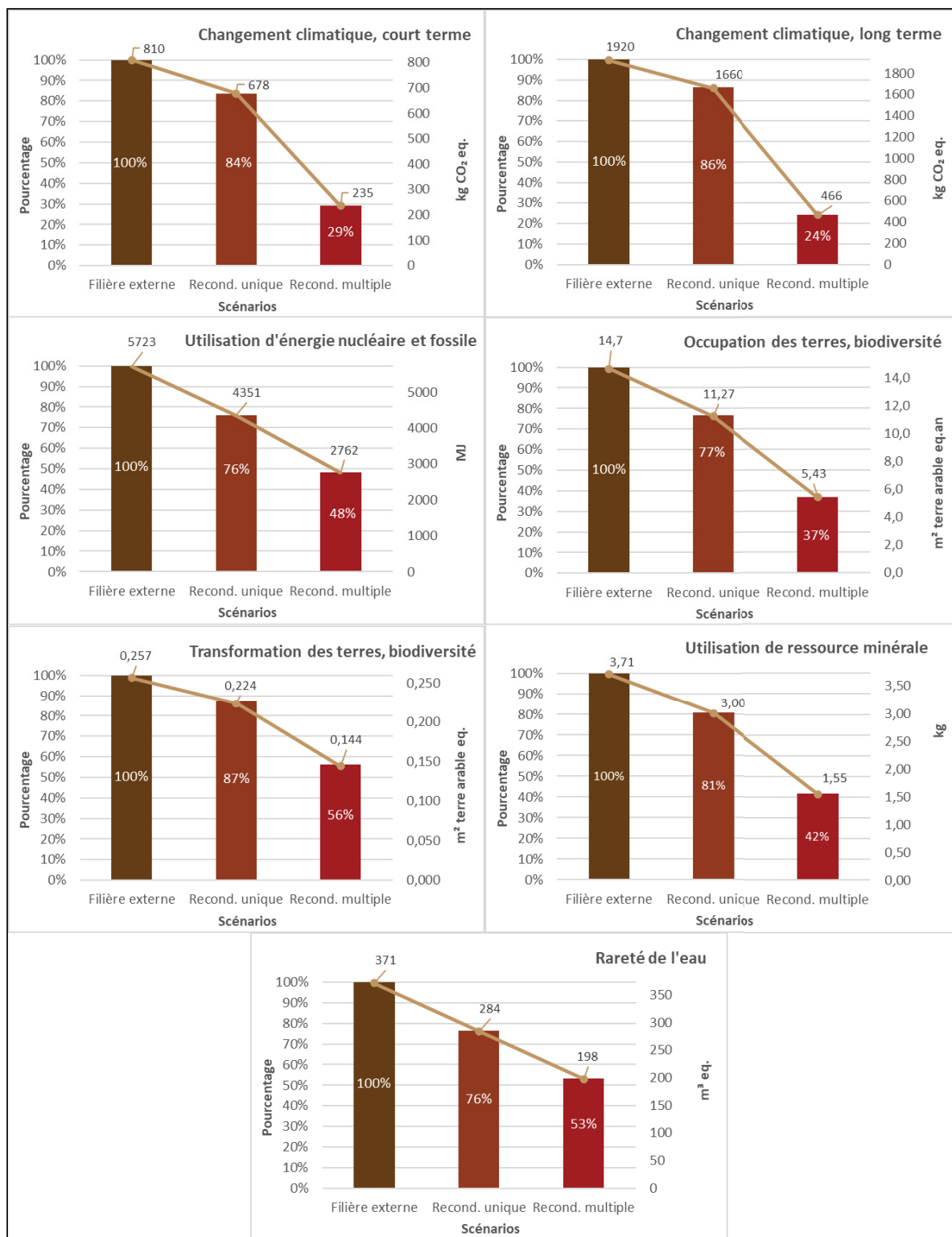


Figure 3.6 Impacts environnementaux pour le casier reprographie des différents scénarios selon sept indicateurs d'impacts

Les graphiques de la Figure 3.5 (casier monteureur) et la Figure 3.6 (casier reprographie) montrent les variations des impacts environnementaux pour chaque indicateur d'impacts. Les scénarios du reconditionnement unique (RU) pour le casier monteureur ainsi que pour le casier reprographie parviennent à des résultats favorables au niveau de l'impact environnemental. Pour le casier monteureur, les écarts observés vont de 10 % à 26 % de réduction. À 10 % et 13 % de réduction, les plus faibles parmi les sept indicateurs sont pour les changements climatiques (CC) à court et long terme. Trois indicateurs obtiennent une diminution des impacts plus élevés de 20 % : l'utilisation des énergies nucléaires et fossiles, l'occupation des terres et la rareté de l'eau. Pour le casier reprographie, les écarts des impacts du RU se situent entre 13 % et 24 %. Les réductions les plus faibles avec 13 %, 14 %, 16 % sont pour les CC à court et long terme et pour la transformation des terres respectivement. Les restes des catégories d'impact se voient réduits de plus de 20 % (max 24 %). En comparaison avec le scénario FC, le reconditionnement multiple (RM) offre une meilleure performance environnementale. Cette fois, les variations sont entre 19 % et 47 % pour le casier reprographie. Les plus grandes réductions s'observent pour l'impact des CC à 42 % (court terme) et 47 % (long terme). La réduction des impacts pour le casier monteureur varie entre 44 % et 76 %. Les CC présentent à nouveau une meilleure performance parmi les différentes catégories d'impacts. Les résultats de l'étude révèlent qu'un second reconditionnement a permis de réduire les impacts de 0 % à 62 % par rapport à un reconditionnement unique. L'écart observé pour le casier monteureur se trouve entre 0 % à 26 % et entre 23 % et 62 % pour le casier reprographie. En général, les performances environnementales du casier reprographie présentent une réduction des impacts plus importante que celles du casier monteureur. Les différences varient au niveau de la matière première. Le casier monteureur nécessite plus de matière première vierge (MPV). L'impact associé à la fabrication, au transport et aux matières résiduelles générées des MPV est donc plus grand. Le reconditionnement unique présente un bilan environnemental favorable par rapport au scénario de base, tandis que le reconditionnement multiple démontre une performance environnementale supérieure à celui du reconditionnement unique.

Différents processus du système peuvent influencer davantage les impacts environnementaux. Dans le cas du reconditionnement unique du casier monteureur, l'impact du transport contribue à

moins de 14 % sur l'ensemble des catégories d'impacts. En ce qui concerne les changements climatiques, le transport contribue à hauteur de 7 % à court terme et de 3 % à long terme. Les parties non utilisées des cubicules, envoyées à l'enfouissement, constituent une part importante des impacts environnementaux, représentant 52 % des impacts sur les changements climatiques à court terme et 66 % à long terme. L'occupation des terres est affectée à hauteur de 44 %. Les matières premières primaires (MP_P) sont la deuxième catégorie avec le plus grand impact global, représentant 78 % de l'utilisation des énergies fossiles et nucléaires. Plus de 60 % des impacts liés à la transformation des terres et à l'utilisation des ressources minérales sont attribués aux MP_P, de même que 86 % des impacts sur la rareté de l'eau. Les résultats pour le casier reprographie proposent les mêmes conclusions sur l'origine principale des impacts : les rejets des cubicules ainsi que les MP_P ont un plus grand impact sur l'ensemble du processus de reconditionnement. L'impact sur les rejets des cubicules est grand, car les rejets sont envoyés à l'enfouissement et ils sont disproportionnels en comparaison avec le meuble final. Quelques différences apparaissent tout de même dans certaines données. Les impacts du casier monteuse sont généralement plus élevés pour les MP_P et plus faibles pour les matières résiduelles (cubicules). Une explication est que la masse plus élevée de MP_P est plus grande pour le casier monteuse. Dans le reconditionnement multiple, pour les deux casiers, la source des impacts est semblable au RU. L'impact des MP_P est toutefois plus grand.

Les gains environnementaux (résultats B) associés à la stratégie de reconditionnement restent significatifs, même en présence d'un déséquilibre dans le flux de matière et d'une performance de circularité faible. Cependant, ces résultats mettent en évidence la nécessité d'améliorer certains flux de matière ou d'énergie et d'optimiser la circularité pour maximiser les bénéfices environnementaux du reconditionnement.

CHAPITRE 4

DISCUSSION

Le chapitre 4 présente dans un premier temps, l'opérationnalisation du reconditionnement au Québec suivi de pistes d'amélioration. Dans un deuxième temps, les perspectives pour la filière de reconditionnement sont détaillées.

4.1 Opérationnalisation du reconditionnement au Québec

La première section du chapitre aborde la mise en exploitation de la démarche dans le contexte québécois de l'étude. Cette démarche nécessite une approche d'écoconception sur deux fronts : en fin d'usage pour le reconditionnement et en amont de la conception du mobilier de bureau neuf. Des pistes de recommandations sont offertes pour faciliter l'opérationnalisation du reconditionnement.

4.1.1 Intégration de la filière de reconditionnement au Québec

Les résultats de l'étude sont en faveur que la filière de reconditionnement de mobilier de bureau s'opérationnalise à l'échelle du Québec. Deux angles d'approches peuvent être adoptés : le développement de la filière de reconditionnement comme solution en fin de vie et l'écoconception dans une optique de reconditionnement. L'étude s'adresse donc aux organisations dans le traitement des matières résiduelles qui désirent établir une filière de reconditionnement et à l'industrie du meuble pour adopter des pratiques plus propices au reconditionnement. Les observations de l'étude sont favorables à la création d'une filière de reconditionnement au Québec. La section suivante aborde les deux angles d'approches et fait part des améliorations à faire afin d'améliorer la démarche.

Le reconditionnement s'inscrit dans une des stratégies fondamentales de l'économie circulaire et permet de rallonger la vie d'une portion d'un produit (Bocken et al., 2016). Dans un reconditionnement, une certaine proportion de la matière est garantie d'avoir une seconde vie.

Cette proportion peut varier d'un reconditionnement à l'autre. D'une part, l'étude révèle un déséquilibre entre la quantité de matières résiduelles générées et la masse du meuble final. Pour le reconditionnement unique (RU) du casier monteur (CM) et du casier reprographie (CR), plus de 90 % des extrants sont des résidus. La masse des casiers finaux correspond donc à moins de 10 % de la masse totale de matières premières à sélectionner pour sa fabrication. Bien qu'une part des cubicules est récupérée, le reconditionnement des casiers génère plus de 1 700 kg de matières résiduelles. Le cas de l'étude comportait des contraintes qui affectent les résultats. L'adaptation des concepts aux besoins du client a fait en sorte que beaucoup de matières ont été envoyées à l'enfouissement, ce qui baisse la plus-value massique de faire du reconditionnement. À l'inverse, si la matière et les composantes inutilisées sont perçues comme un gisement exploitable, la quantité de perte peut grandement diminuer. D'autre part, le taux de circularité indique que la quantité de matières premières secondaires reconditionnées est faible. Les taux se situent à 6 % pour le CM et à 7 % pour le CR. L'addition des deux concepts permet d'atteindre un 12 % de couverture pour trois cubicules. Avec les contraintes de l'étude, uniquement 12 % de la matière première secondaire sont réutilisées et le reste est éliminé. En revanche, le 82 % de la matière restante représente un gisement inutilisé. Par ailleurs, en considérant seulement la matière première secondaire utilisable, le ratio d'utilisation se situe entre 42 % et 60 %. Les données de l'International Resource Panel indiquent une récupération de la matière entre 80 et 89 % (International Resource Panel, 2018). La présente étude montre donc que le reconditionnement du mobilier de bureau ne permet pas d'atteindre un taux élevé de récupération des matériaux. Afin d'améliorer l'utilisation de la matière, l'écoconception peut être appliquée au reconditionnement. Les démarches de l'écoconception peuvent s'observer par l'augmentation du nombre de concepts, par l'optimisation de la matière et des composantes récupérées et par la réduction de l'usinage des pièces. Dans le cadre de l'étude, l'écoconception n'était pas mise de l'avant. Plutôt qu'étudier toutes les possibilités du lot de mobilier de bureau et d'optimiser les différents concepts réalisables, ce sont les besoins du client qui ont été privilégiés. La réflexion derrière les concepts du casier monteur et reprographie s'est enlignée vers : comment, avec le lot initial, est-ce possible de faire des casiers ? Le reconditionnement offre l'avantage de remettre de la matière dans la chaîne de valeur. L'écoconception appliquée au reconditionnement permet

d'optimiser l'utilisation des matériaux, de minimiser les déchets et d'augmenter le taux de circularité. Elle est particulièrement pertinente dans le reconditionnement, où l'objectif est de prolonger la durée de vie des matériaux existants. De plus, l'écoconception permet d'optimiser le nombre de meubles possibles à produire avec le lot initial. L'écoconception est atteignable en ajustant les concepts et en sélectionnant les matériaux de manière à obtenir le maximum de produits finis à partir des ressources disponibles. Cette stratégie peut contribuer à réduire l'impact environnemental tout en augmentant la rentabilité et l'efficacité du reconditionnement.

L'écoconception peut être appliquée autrement que par l'optimisation de la matière lors du reconditionnement. Cette optimisation se déroule seulement en aval. La troisième stratégie fondamentale de l'économie circulaire, à repenser les choses, concerne surtout la production en amont (Bocken et al., 2016). L'écoconception, par rapport à la filière conventionnelle, offre plusieurs avantages clés pour améliorer la durabilité des produits et leur réutilisation. L'un des principaux aspects est la facilité de démontage, qui permet un désassemblage plus rapide et plus efficace des produits en fin d'usage. Lors du démontage, la diminution des bris dus aux pièces collés réduit la perte de matériaux. Avoir différentes composantes qui s'emboîtent facilement et qui offrent une versatilité dans l'assemblage permet de recréer de multiples combinaisons de mobilier. De plus, l'écoconception met un effort sur la qualité et l'écoresponsabilité des matériaux utilisés. Cette approche améliore la performance de réusinage des matériaux, en rendant les matériaux plus facilement réutilisables ou recyclables. D'ailleurs, Réseau-Bureautique priorise le mobilier de bureau de haute qualité pour le reconditionnement. L'entreprise Réseau-Bureautique a une approche plus industrielle et standardisée. L'entreprise récolte plusieurs lots de différentes entreprises pour créer une réserve. À la demande du client, Réseau-Bureautique assemble des composantes et affecte la finition. Avec la banque de composantes que possède l'entreprise, ils ont une plus grande flexibilité dans les choix de concept de mobilier de bureau. Une entreprise qui se développe dans la filière du reconditionnement devrait opter pour une échelle industrielle si elle désire optimiser au maximum ses procédés (Réseau-Bureautique, communication personnelle, 16 mars 2023).

4.1.2 Pistes d'améliorations

Plusieurs hypothèses ont été émises lors de la réalisation de l'étude de cas. La modification de certaines hypothèses peut permettre d'obtenir des résultats plus approfondis.

L'étude s'est réalisée à l'aide de deux outils principaux l'analyse de flux de matière (AFME) et d'énergie ainsi que l'analyse du cycle de vie (ACV). Dans un premier temps, la qualité des données utilisées par l'AFME est importante, car elle se reflète directement dans les résultats. Plusieurs façons existent pour améliorer la qualité des résultats. L'étude actuelle repose sur un plan d'action théorique. Une vérification des données avec une analyse de sensibilité peut mettre en lumière des erreurs potentielles et s'assurer que les données soient précises. De plus, les masses des composantes du mobilier sont mesurées avec deux techniques : avec une balance ou avec la masse volumique. L'utilisation d'une seule technique permet d'être plus consistant dans les mesures. De plus, les données de l'AFME affectent aussi les résultats de l'ACV. Les deux outils utilisent les mêmes sources de données. Dans un deuxième temps, l'ACV peut être sujet à des décisions subjectives et occasionner des variations dans les résultats selon les processus sélectionnés et la méthode d'évaluation. La réflexion critique sur les conséquences de ces choix dans les résultats est essentielle. Par exemple, la consommation d'eau, n'a pas été considérée. La quantité d'eau utilisée était difficile à estimer et considérant le contexte québécois, les impacts environnementaux peuvent être moins importants. Les variations peuvent aussi provenir du choix de l'origine des matières premières (MP). Les matières premières sont issues de différents pays, la distance de leur déplacement est donc variable selon le choix effectué. Dans un troisième temps, porter un regard sur les ordres de grandeur des différentes catégories d'impacts est intéressant. L'étude actuelle s'est concentrée sur les différences entre scénarios et a sélectionné sept indicateurs recommandés par l'article de Feil & al. (2015). Un questionnement sur la pertinence pour la totalité des indicateurs (18) peut permettre de mieux cibler les impacts. Dans un quatrième temps, l'ACV est réalisé en extrayant directement les facteurs d'émissions du logiciel OpenLCA avec la méthode d'impact IMPACT World+. Cette technique offre au client des données précises sur certaines catégories d'impact tel que les changements climatiques exprimé en CO₂ éq. Normalement,

l'interprétation des données avec IMPACT World+ est exprimée en trois catégories : changement climatique, santé humaine et consommation de ressources (Jolliet et al., 2015). Pour une analyse du cycle de vie, cette technique est suffisante et plus complète, car elle contient toutes les catégories d'impacts. Par ailleurs, la sélection des catégories d'impacts n'est pas recommandée en ACV. Elle nécessite, en revanche, la modélisation dans le logiciel OpenLCA et des étapes supplémentaires pour obtenir des résultats sur les catégories d'impact individuel. En complément, une analyse de sensibilité pour affiner les résultats obtenus est pertinente, notamment sur les données relatives aux matières résiduelles. La gestion en fin de vie du mobilier de bureau offre de nombreuses nuances qui doivent être incluses dans une prochaine étude.

Les données utilisées pour l'analyse nécessitent une meilleure précision sur les types de matières résiduelles. Dans le cas présent, les matières résiduelles étaient dirigées vers l'enfouissement, bien que le contexte actuel puisse varier. Les données disponibles ne précisent pas exactement la quantité et le sort de ces matières. Les voies en fin d'usage sont multiples : enfouissement dans un lieu d'enfouissement technique (LET) ou dans un centre de tri (CDT) pour les résidus de construction, rénovation et démolition (CRD), recyclage ou valorisation. Les problématiques de la filière de mobilier de bureau sont plus difficilement identifiées sans une caractérisation complète. Les flux de matières résiduelles peuvent alors avoir des destinations différentes selon le type de matières. De plus, cette caractérisation permet de mieux caractériser les gisements de matières.

4.2 Perspective

La deuxième section du chapitre 4 discute des perspectives sur la filière de reconditionnement de mobilier de bureau. Actuellement, le reconditionnement n'est pas une solution en fin de vie très répandue dans la province. Pourtant, il y a un constant roulement de mobilier de bureau chez les entreprises. La quantité de déchets de cette industrie est non négligeable. De plus, les données sur l'industrie actuelle ne permettent pas de connaître la quantité exacte de mobilier de bureau envoyé au rebut. Dans le contexte québécois, la majorité de meubles sont envoyés à

des CDT-CRD et une grande partie à l'enfouissement. La réalisation d'un bilan uniquement sur le mobilier de bureau est nécessaire. Le bilan permettrait de connaître le gisement au Québec et de reconnaître davantage le potentiel de reconditionnement de mobilier. Le potentiel en matières premières (gisement) est important, notamment dans les régions de plus forte économie, où le gisement de mobilier de bureau est plus élevé.

L'étude actuelle a démontré qu'un mobilier de bureau reconditionné à moins d'impacts environnementaux qu'un meuble neuf ou le gisement est envoyé à l'enfouissement. D'autres voies en fin de vie existent et sur lesquelles l'étude actuelle ne s'est pas penchée. Le recyclage et la valorisation n'ont pas le même impact environnemental que l'enfouissement. Plusieurs solutions peuvent co-exister, mais établir laquelle possède le moins d'impacts avec le plus de circularité possible est intéressant. D'autres études qui comparent le reconditionnement d'un meuble avec le recyclage ou la valorisation d'un meuble peuvent permettre d'enligner les efforts vers la solution plus avantageuse d'un point de vue environnemental.

La récupération du mobilier de bureau par divers intermédiaires mérite une attention particulière. En effet, plusieurs acteurs interviennent dans ce processus, chacune avec des méthodes et des priorités différentes. Les entreprises spécialisées dans la collecte de déchets facturent leurs services pour débarrasser les entreprises de leur mobilier, mais la gestion des déchets manque souvent de transparence. D'autres acteurs incluent les entreprises de conteneurs qui récupèrent les résidus de construction, rénovation et démolition (CRD), dans lesquels du mobilier de bureau peut également se retrouver. Les déménageurs jouent aussi un rôle dans cette filière, souvent en considérant le potentiel de revente du mobilier. Toutefois, préserver l'intégrité des meubles n'est pas leur priorité principale. Quant aux entreprises de la filière parcs et conteneurs, leur perception du mobilier de bureau est comme une matière première avec un potentiel de valorisation. Intégrer des acteurs spécialisés dans le reconditionnement du mobilier de bureau apparaît essentiel pour améliorer la logistique de récupération et encourager une gestion plus durable de ces ressources (Réseau-Bureautique, communication personnelle, 16 mars 2023).

La filière du reconditionnement présente du potentiel au niveau de l'intérêt du public. Les entreprises et les organisations au Québec cherchent de plus en plus à adopter des pratiques écoresponsables pour réduire leur empreinte environnementale. Le mobilier de bureau reconditionné offre une qualité équivalente à un produit neuf et il est souvent plus abordable (Réseau-Bureautique, communication personnelle, 16 mars 2023). Un service de location de mobilier de bureau constitue une nouvelle approche dans la filière. La location permet aux entreprises d'évoluer selon leurs besoins sans engager de gros investissements. Le gouvernement du Québec pourrait encourager cette pratique en offrant des subventions ou incitatifs fiscaux aux entreprises qui choisissent du mobilier reconditionné ou qui participent au reconditionnement de leurs propres meubles. Ces subventions peuvent s'inscrire dans les objectifs en économie circulaire du gouvernement.

CONCLUSION

Le secteur du mobilier de bureau génère un flux continu de matières résiduelles et une grande partie est directement envoyée à l'enfouissement. L'élimination n'est pas la seule solution en fin d'usage, mais elle est la plus répandue. Le réemploi, le reconditionnement, le recyclage et la valorisation sont des solutions aussi envisageables. Actuellement, peu de données existent sur la gestion du mobilier de bureau en fin d'usage. L'impact environnemental de chaque solution est aussi encore méconnu. Le reconditionnement émerge comme une solution intéressante qui s'inscrit dans une démarche d'économie circulaire au Québec. L'écoconception, une stratégie de l'économie circulaire, s'applique au reconditionnement sur deux aspects. La première est de repenser les modèles de mobilier pour faciliter sa gestion en fin d'usage et la deuxième sur le bouclage de la matière, visant à prolonger la durée de vie des produits. Cette filière pourrait réduire la quantité de déchets et ainsi que les impacts environnementaux associés. L'étude actuelle se concentre sur l'évaluation environnementale du reconditionnement de mobilier de bureau.

La présente étude s'est basée sur une étude de cas menée avec Hydro-Québec en partenariat avec le Centre d'innovation en ébénisterie et meuble (INOVEM). L'entreprise fait l'objet d'une tentative de transition vers une pratique plus écoresponsable dans le réaménagement de leurs bureaux. L'entreprise a choisi de reconditionner des cubicules existants plutôt que de les remplacer par de nouveaux meubles. Un inventaire méthodique a été réalisé, détaillant chaque composante des cubicules démontés. Ce travail d'inventaire a ensuite servi de base au développement de nouveaux concepts de mobilier par INOVEM. Deux prototypes de casiers ont ainsi vu le jour, le casier monteur et le casier reprographie, chacun accompagné d'une liste de flux de matière et d'une planification de la consommation énergétique.

Pour évaluer l'impact environnemental de cette initiative, trois scénarios ont été comparés : la filière conventionnelle (achat de mobilier neuf), le reconditionnement unique et le reconditionnement multiple. L'analyse s'est appuyée sur deux méthodes principales : une analyse de flux de matière et d'énergie (AFME) pour examiner la chaîne de valeur et une

analyse du cycle de vie (ACV). L'ACV s'est basé sur sept indicateurs d'impact environnemental : les changements climatiques à court et long terme, l'utilisation de ressources fossiles et nucléaires, la biodiversité à travers l'occupation et la transformation des terres et la consommation d'eau et de ressources minérales. Ces outils permettent de quantifier l'impact environnemental global des différents scénarios.

Les résultats obtenus se divisent en trois volets : le bilan des flux, le taux de circularité et l'évaluation environnementale. Les contraintes de l'étude de cas ont fait en sorte que le bilan des flux révèle un déséquilibre dans les flux de matière avec une faible proportion de matériaux réutilisés dans les nouveaux casiers (8 % pour le casier monteur et 9 % pour le casier reprographie). Le taux de circularité du reconditionnement, en considération des restrictions, atteint seulement 6 % pour le casier monteur et 5 % pour le casier reprographie, couvrant ensemble 12 % de la masse des cubicules étudiés. Malgré une performance de circularité modeste, l'étude montre des gains environnementaux sur la totalité des indicateurs d'impact.

En reconditionnant le mobilier existant, Hydro-Québec contribue à la réduction de la consommation de nouvelles matières premières et la génération de déchets. Ces résultats mettent en lumière le potentiel du reconditionnement dans une démarche d'économie circulaire. Cependant, la performance circulaire du reconditionnement peut être améliorée. L'optimisation des flux peut être atteinte par l'entreprise de l'écoconception lors du reconditionnement. Un autre aspect qui peut améliorer la performance circulaire est l'écoconception en amont d'un meuble de la filière conventionnelle. Un mobilier facilement démontable permet de donner une seconde vie à la matière avec plus d'aisance. L'amélioration de la performance circulaire engendre une réduction supplémentaire des impacts environnementaux.

L'étude actuelle montre que même si le reconditionnement est positif sur le plan environnemental, de nombreux aspects doivent être retravaillés pour bien développer la filière. L'écoconception en amont et en aval ainsi que la participation de différents acteurs sont essentielles au développement de la filière.

ANNEXE I

DISTANCES MOYENNES PARCOURUES PAR LA MATIÈRE

Tableau-A I-1 Distances moyennes parcourues par la matière

Processus	Provenance	Moyenne (km)	Mode de transport
Matières premières primaires			
Mélamine	Allemagne	6500	Bateau
Stratifié	Allemagne	6500	Bateau
Contreplaqué en merisier	Québec, CA	530	Camion
Panneau de particule	Québec, CA	530	Camion
Masonite	Québec, CA	530	Camion
Panneau particule & stratifié	Québec, CA	530	Camion
Backing	Allemagne	6500	Bateau
Polychlorure de vinyle	Allemagne	6500	Bateau
Quincaillerie	Québec, CA	1200	Camion
Acier inoxydable	Québec, CA	1200	Camion
Aluminium	Québec, CA	500	Camion
Matières résiduelles			
Lieux d'enfouissement technique	Québec, CA	70	Camion
Matières premières secondaires / Meubles			
Matières premières secondaires	Québec, CA	9,0	Camion
Casier monteur	Québec, CA	37,3	Camion
Casier reprographie	Québec, CA	27,9	Camion

ANNEXE II

DESCRIPTION DES CATÉGORIES D'IMPACTS

Tableau-A II-1 Description des catégories d'impacts
Tiré de Wernet et al. (2016)

Indicateurs	Unités	Descriptions
Changement climatique, court terme	kg CO ₂ éq.	Émissions atmosphériques de gaz à effet de serre. Certains gaz ont une durée variable et se dissiperont plus rapidement. (100 ans)
Changement climatique, long terme	kg CO ₂ éq.	Émissions atmosphériques de gaz à effet de serre. Certains gaz ont une durée variable et se dissiperont plus lentement (500 ans et +).
Transformation des terres, biodiversité	m ² terre arable éq.	Transformation des sols, tels que les activités d'agriculture et d'élevage, la création de sites d'enfouissement, la réduction ou l'augmentation des superficies de forêt, des sites industriels, des villes, les routes, etc.
Occupation des terres, biodiversité	m ² terre arable éq. an	Occupation des sols pour l'agriculture, les sites d'enfouissement, les forêts, l'élevage, les sites industriels, les villes, les routes, etc.
Utilisation d'énergie nucléaire et fossile	MJ	MJ d'énergie consommé, MJ rendu indisponibles.
Utilisation de ressources minérale	kg	Extraction de ressource minérale, kg rendu indisponibles.
Rareté de l'eau	m ³ éq.	M ³ d'eau rendu indisponible.

ANNEXE III

SCHÉMA DES FLUX

Tableau-A III-1 Flux intrants du tri pour le casier monteure et le casier reprographie

		Casier monteure			Casier reprographie		
		FE	RU	RM	FE	RU	RM
Résidus de tri	kg	1,9E+03	1,7E+03	1,9E+02	1,9E+03	1,7E+03	1,7E+02
Transport (Camion)	tkm	1,4E+02	1,2E+02	13	1,4E+02	1,2E+02	12

Tableau-A III-2 Flux intrants du démantèlement et de la fabrication pour le casier monteure et le casier reprographie

		Casier monteure			Casier reprographie		
		FE	RU	RM	FE	RU	RM
Consommation électrique	kWh	51	28	28	51	28	28
Transport (Camion)	tkm	2,0E+02	1,2E+02	1,1E+02	1,4E+02	68	52
Transport (Bateau)		2,8E+02	2,8E+02	2,7E+02	1,2E+02	1,5E+02	1,2E+02
Mélaamine	kg / m³	3,4	-	-	2	-	-
Stratifié		25	29	28	9	16	12
Contreplaqué en merisier		23/0,035	23/0,035	22/0,029	23/0,035	23/0,035	17/0,026
Panneau de particule		3,6E+02/ 0,52	2,0E+02 /0,28	1,9E+02/ 0,24	2,0E+02/ 0,28	99/ 0,14	75/ 0,11
Panneau particule & stratifié		-	-	-	31/0,47	-	-
Backing		15	15	14	7,3	7,3	5,5
Quincaillerie		0,070	0,070	0,068	1,4	1,4	1,1

Tableau-A III-3 Flux extrants du démantèlement et de la fabrication pour le casier monteure et le casier reprographie

		Casier monteure			Casier reprographie		
		FE	RU	RM	FE	RU	RM
Transport (Camion)	tkm	16	19	18	7	15	7,8
Mélamine	kg	1,3	1,0	253	5,1	1,2	111
Stratifié		6,9	16	253	2,2	3,7	111
Contreplaqué de merisier		18	18	253	18	18	111
Panneau de particule		2,0E+02	1,8E+02	253	49	49	111
Masonite		-	7,7	253		5,2	111
Panneau particule & stratifié		-	18	253	24	21	111
Backing		9,4	9,4	253	3,2	3,2	111
Acier inoxydable		-	-	253	-	38	111
Quincaillerie		-	21	253		15	111
Aluminium		-	-	253	-	0,77	111
Polychlorure de vinyle		-	-	253	-	3,0	111

Tableau-A III-4 Flux intrants de l'utilisation pour le casier monteure et le casier reprographie

		Casier monteure			Casier reprographie		
		FE	RU	RM	FE	RU	RM
Transport (Camion)	tkm	7,1	7,1	7,1	4,7	4,7	4,7

Tableau-A III-5 Flux extrants de l'utilisation pour le casier monteure et le casier reprographie

		Casier monteure			Casier reprographie		
		FE	RU	RM	FE	RU	RM
Transport (Camion)	tkm	14	13	13	12	12	12
Mélamine	kg	1,0E+02	1,0E+02	1,0E+02	96	1,8	1,8
Stratifié		18	13	13	6,7	9,3	9,3
Contreplaqué de merisier		4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
Panneau particule		65	65	65	51	1,4E+02	1,4E+02
Panneau stratifié		-	-	-	6,5	6,5	6,5
Backing		5,1	5,1	5,1	4,1	4,1	4,1
Quincaillerie		0,070	0,070	0,070	1,4	1,4	1,4

ANNEXE IV

FACTEURS D'ÉMISSIONS DES CATÉGORIES D'IMPACT POUR LES PROCESSUS DU SYSTÈME

Tableau-A IV-1 Facteurs d'émissions des catégories d'impact pour les processus du système
Tiré de Wernet et al. (2016)

	Changement climatique, court terme (kg CO2 eq.)	Changement climatique, long terme (kg CO2 eq.)	Utilisation d'énergie nucléaire et fossile (MJ)	Occupation des terres (m2 terre arable eq.an)	Transformati on des terres (m2 terre arable eq.)	Utilisation de ressource minérale (kg)	Rareté de l'eau (m3 eq.)
Conso. électrique (1 kWh)	0,014880307	0,015394338	0,081773141	0,075356899	0,000841243	0,000370156	0,745990383
Mélamine, stratifié, backing, polychlorure de vinyle (1 kg)	3,272587275	3,584500378	77,96443777	0,018139734	0,003793113	0,038052837	4,917834432
Contreplaqué en merisier (1 m³)	346,9330051	378,8108025	6520,838221	39,58517472	0,684522666	4,392380973	1337,847963
Panneau de particule, panneau de particule & stratifié (1 m³)	267,6430642	287,7611011	6609,418863	1,513684307	0,065994945	3,204785145	386,1470902
Masonite (1 m³)	844,7216026	895,8855	11584,01685	5,184096609	2,295968357	1,856225153	310,6202672
Acier inoxydable, quincaillerie (1 kg)	4,155921284	4,413593725	53,99068908	0,04974747	0,00072049	0,050772367	1,88188905
Aluminium (1 kg)	7,880241474	8,136243007	91,39905449	0,752444694	0,008556615	0,031894381	9,807820676
LET (1 kg)	0,25691273	0,753105506	0,269794721	0,002959353	2,84278E-05	0,000670223	0,019975706
Camion (1 t·km)	0,209338595	0,212623122	3,400991881	0,004665432	7,05654E-05	0,000530803	0,019212668
Bateau (1 t·km)	9,0701E-06	3,01624E-06	9,0701E-06	3,01624E-06	9,0701E-06	7,14252E-06	0,000381997

ANNEXE V

TAUX DE CIRCULARITÉ DU RECONDITIONNEMENT MULTIPLE

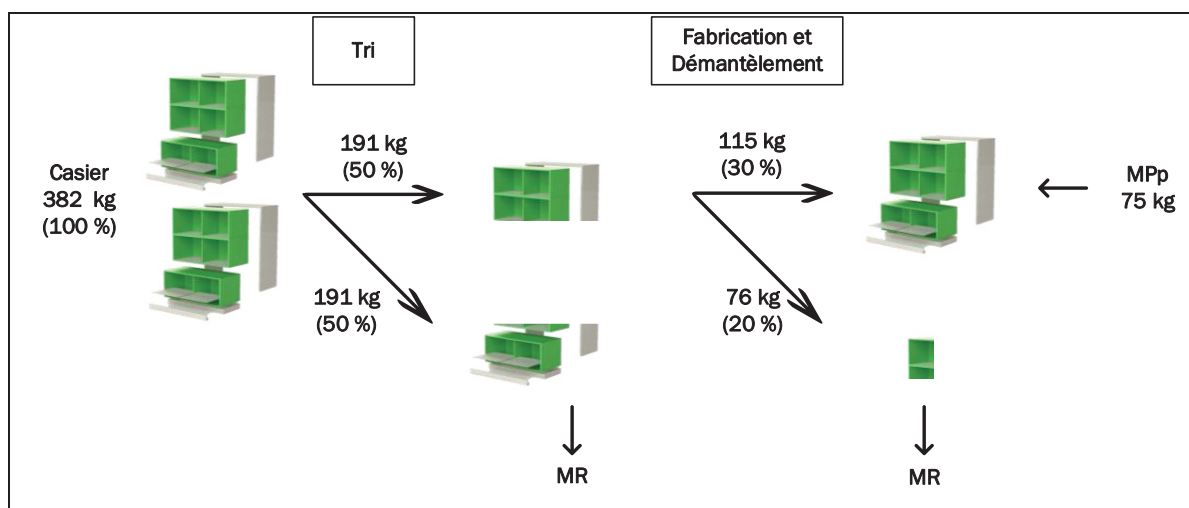


Figure-A V-1 Taux de circularité de la matière pour le casier reprographie (reconditionnement multiple)

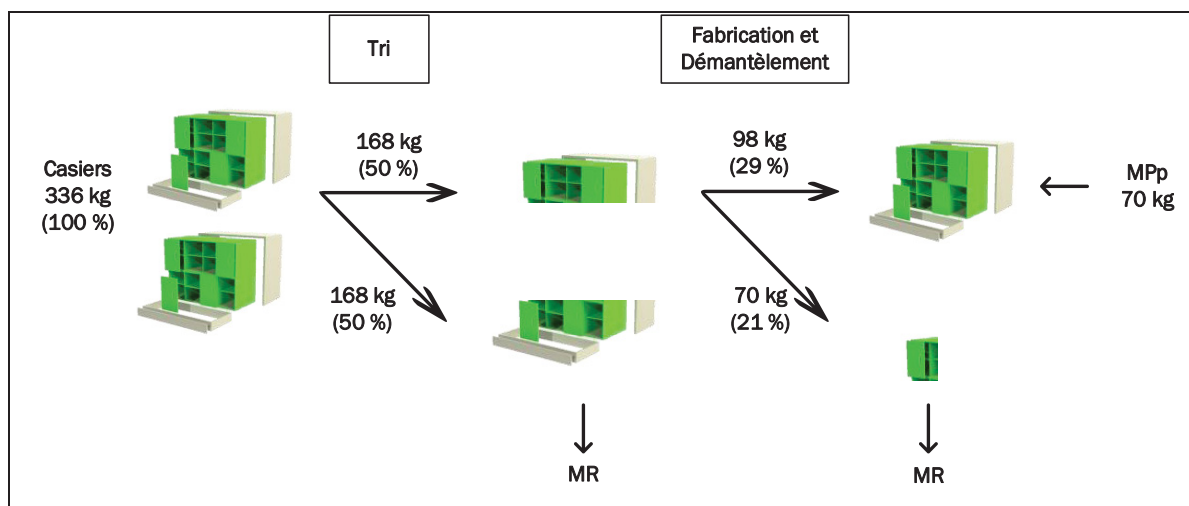


Figure-A V-2 Taux de circularité de la matière pour le casier reprographie (reconditionnement multiple)

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). (1999). *Conception de produits et environnement 90 exemples d'écoconception*. Paris: ADEME Éditions.
- Alfonso Piña, W. H., & Pardo Martínez, C. I. (2014). Urban material flow analysis: An approach for Bogotá, Colombia. *Ecological Indicators*, 42, 32-42. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.035>
- Barrero, J. M., Bloom, N., & Davis, S. J. (2021). Why working from home will stick. *NBER Working Paper*(28731). doi:10.3386/w28731
- Bocken, N. M. P., De Pauw, I., Bakker, C., & Van Der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308-320. doi:10.1080/21681015.2016.1172124
- Brunner, P., & Rechberger, H. (2004). Practical Handbook of Material Flow Analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9. doi:10.1007/BF02979426
- CBRE. (2023). *2023 Office Occupier Sentiment Survey: Global Summary*. Repéré à <https://sprcdn-assets.sprinklr.com/2299/9f7500b7-b9ac-4cab-a1b7-fc1f807e8075-736638690.pdf>
- CBRE. (2024). Canada Office Figures Q1 2024. Repéré à <https://www.cbre.ca/-/media/project/cbre/dotcom/americas/canada-emerald/insights/Figures/Office/Canada-Office-Figures-Q1-2024.pdf>
- Cummins, C. (2022, 6 février). Landlords move to the beat of tenants as offices welcome back workers. *The Sydney Morning Herald*. Retrieved from <https://www.commercialrealestate.com.au/news/landlords-move-to-the-beat-of-tenants-as-offices-welcome-back-workers-1116721/>
- Ecoinvent. (s.d.). Database. Repéré à <https://support.ecoinvent.org/database>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2015). Construction and Demolition Debris: Material-Specific Data. Repéré à <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/construction-and-demolition-debris-material>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2018). Durable Goods : Product-Specific Data. Repéré à <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/durable-goods-product-specific-data>
- European Commission - Directorate-General for Enterprise and Industry. (2014). *The EU furniture market situation and a possible furniture products initiative*. Repéré à <https://op.europa.eu/publication-detail/-/publication/64921615-f0c9-4577-9087-8f25748ad5d8>

- European Environmental Bureau (EEB). (2017). *Circular economy opportunities in the furniture sector*. Repéré à <https://eeb.org/wp-content/uploads/2019/05/Report-on-the-Circular-Economy-in-the-Furniture-Sector.pdf>
- Feil, A. A., de Quevedo, D. M., & Schreiber, D. (2015). Selection and identification of the indicators for quickly measuring sustainability in micro and small furniture industries. *Sustainable Production and Consumption*, 3, 34-44. doi:10.1016/j.spc.2015.08.006
- Fondation Ellen MacArthur. (s.d.). The technical cycle of the butterfly diagram. Repéré à <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/articles/the-technical-cycle-of-the-butterfly-diagram>
- Gouvernement du Québec. (2006). Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles. Repéré à <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/Q-2,%20r.%2019>
- Gouvernement du Québec. (2007). *Profil de l'industrie québécoise du meuble*. Repéré à https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageFichier.aspx?idf=68433
- Gouvernement du Québec. (2024). Q-2, r. 35.1 - Politique québécoise de gestion des matières résiduelles. Repéré à <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/Q-2,%20r.%2035.1%20/>
- Hospido, A., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2003). Simplified life cycle assessment of galician milk production. *International Dairy Journal*, 13(10), 783-796. doi:[https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00100-6)
- Hydro-Québec. (2022). *Guide d'aménagement planification universelle*. Document inédit, Direction immobilier, Hydro-Québec,
- Index Design. (2023). Guide Index Design 2023 - 300 adresses et références design. Repéré à <https://brefmtl.com/products/guide-300-adresses-et-references-design-2023>
- International Resource Panel. (2018). *Re-defining Value – The Manufacturing Revolution*. Repéré à <https://www.resourcepanel.org/file/1105/download?token=LPqPM9Bo>
- Jolliet, O., Saade-Sbeih, M., Shaked, S., Jolliet, A., & Crettaz, P. (2015). *Environmental Life Cycle Assessment* (1^e éd.). Boca Raton: CRC Press.
- Kullmann, F., Markewitz, P., Stolten, D., & Robinius, M. (2021). Combining the worlds of energy systems and material flow analysis: a review. *Energy, Sustainability and Society*, 11(1). doi:10.1186/s13705-021-00289-2
- Liao, H., Wu, D., Wang, Y., Lyu, Z., Sun, H., Nie, Y., & He, H. (2022). Impacts of carbon trading mechanism on closed-loop supply chain: A case study of stringer pallet

remanufacturing. *Socio-Economic Planning Sciences*, 81.
doi:10.1016/j.seps.2021.101209

Lindahl, M., Sundin, E., & Östlin, J. (2006). *Environmental Issues within the Remanufacturing Industry*. Communication présentée à CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Leuven, Belgium.

Mancini, L., Benini, L., & Sala, S. (2015). Resource footprint of Europe: Complementarity of material flow analysis and life cycle assessment for policy support. *Environmental Science & Policy*, 54, 367-376. doi:https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.07.025

Meister, J. A., Sharp, J., Wang, Y., & Nguyen, K. A. (2023). Assessing Long-Term Medical Remanufacturing Emissions with Life Cycle Analysis. *Processes*, 11(1). doi:10.3390/pr11010036

Ministère de l'Environnement; de la Lutte contre les changements climatiques; de la Faune et des Parcs (MELCCFP). (2021). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2021 et leur évolution depuis 1990*. Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2021/inventaire-ges-1990-2021.pdf>

Ministère de l'Environnement; de la Lutte contre les changements climatiques; de la Faune et des Parcs (MELCCFP). (s.d.-a). Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles (REIMR). Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/reimr.htm>

Ministère de l'Environnement; de la Lutte contre les changements climatiques; de la Faune et des Parcs (MELCCFP). (s.d.-b). Saine gestion des matières résiduelles Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/gestion.htm>

Montréal centre-ville, & Institut du développement urbain du Québec. (2023). *L'état du centre-ville de Montréal*. Repéré à <https://www.etatducentreville.com/wp-content/uploads/2023/05/MCV-LE%CC%81tat-du-centre-ville-6-2023.pdf>

Office québécois de la langue française. (s.d.-a). Bureau. Repéré à <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8378222/bureau>

Office québécois de la langue française. (s.d.-b). Bureau à cloisons. Repéré à <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8361224/bureau-a-cloisons>

Office québécois de la langue française. (s.d.-c). Économie collaborative. Repéré à <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26532944/economie-collaborative>

Office québécois de la langue française. (s.d.-d). Intensification de l'usage. Repéré à <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26561020/intensification-de-lusage>

- Office québécois de la langue française. (s.d.-e). Mobilier de bureau. Repéré à <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8365326/mobilier-de-bureau>
- Office québécois de la langue française. (s.d.-f). Reconditionnement. Repéré à <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26560675/reconditionnement>
- OpenLCA. (s.d.). The world's leading, high performance, open source Life Cycle Assessment software. Repéré à <https://www.openlca.org/>
- Pan, J., Chen, S., & Bardhan, R. (2024). Reinventing hybrid office design through a people-centric adaptive approach. *Building and Environment*, 252, 111219. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111219>
- Property Council of Australia. (s.d.). Research Products. Repéré à <https://www.propertycouncil.com.au/news-research/research/research-products>
- RECYC-QUÉBEC. (1999). *Guide d'information sur le recyclage des matériaux secs*. Repéré à <https://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs1992016>
- RECYC-QUÉBEC. (2009). *Les encombrants*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/Fiche-info-encombrants.pdf>
- RECYC-QUÉBEC. (2018). *Résidus de construction, de rénovation et de démolition (CRD)*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/Fiche-info-crd.pdf>
- RECYC-QUÉBEC. (2021). *Bilan de la gestion des matières résiduelles*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/bilan-gmr-2021-complet.pdf>
- RECYC-QUÉBEC. (2024). Lieux d'enfouissement de débris de construction ou de démolition (LEDCE) autorisés et en exploitation. Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/reglement/LEDCE-autorise-exploitation.pdf>
- RECYC-QUÉBEC. (s.d.). L'économie circulaire, une priorité. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/entreprises-organismes/performer/economie-circulaire/>
- Reserve Bank of Australia. (2021). Box B: COVID-19 and Commercial Property in Australia. Repéré à <https://www.rba.gov.au/publications/smp/2021/aug/box-b-covid-19-and-commercial-property-in-australia.html>
- Seneclauze, A., van der Star, I., Michelland, L., Awada, H., Duclos Murphy, R., & Martel, X. (2023). *RA-Filière de récupération du mobilier de bureau au Québec : Contraintes et perspectives*. Document inédit,

- Statistique Canada. (2023a). *Emploi selon l'industrie, données annuelles*. Repéré à <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/cv.action?pid=1410020201>
- Statistique Canada. (2023b). *Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, par industries, provinces et territoires (x 1 000 000)*. Repéré à <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3610040201&pickMembers%5B0%5D=2.2&pickMembers%5B1%5D=3.155&cubeTimeFrame.startYear=2018&cubeTimeFrame.endYear=2022&referencePeriods=20180101%2C20220101>
- Sundin, E., & Lee, H. M. (2012). *In what way is remanufacturing good for the environment?* Communication présentée à Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society, Dordrecht, Pays-Bas.
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., & Weidema, B. (2016). *The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology*. [Jeu de données]. Repéré à: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>
- Zhang, Y., Lu, W., Wing-Yan Tam, V., & Feng, Y. (2018). From urban metabolism to industrial ecosystem metabolism: A study of construction in Shanghai from 2004 to 2014. *Journal of Cleaner Production*, 202, 428-438. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.054>