

Évaluation des filières de gestion des déchets biomédicaux
non anatomiques : étude de cas de l'agglomération de
Montréal

par

Sandrine Ivy NGANDO LOBE

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE
LA MAITRISE AVEC MÉMOIRE EN GENIE DE L'ENVIRONNEMENT
M. SC. A.

MONTRÉAL, LE 01 AVRIL 2025

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

©Tous droits réservés

Cette licence signifie qu'il est interdit de reproduire, d'enregistrer ou de diffuser en tout ou en partie, le présent document. Le lecteur qui désire imprimer ou conserver sur un autre media une partie importante de ce document, doit obligatoirement en demander l'autorisation à l'auteur.

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. Robert Hausler, président du jury

Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Frédéric Monette, 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 19 MARS 2025

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Je tiens par la présente à exprimer ma profonde gratitude à mon directeur de recherche, Mathias Glaus, pour son soutien, sa guidance et son expertise tout au long de la réalisation de mon mémoire de recherche.

Son engagement inébranlable envers l'excellence académique a été une source d'inspiration tout au long de ce processus. Sa disponibilité pour discuter des idées, son expertise dans le domaine et ses commentaires constructifs ont grandement enrichi la qualité de mon travail.

Cette recherche n'aurait pas été possible sans le soutien continu de mes parents, mon frère, ma sœur et mes amis, et je tiens à les remercier sincèrement pour leur encouragement et leur compréhension pendant cette période intense.

Je suis reconnaissante envers toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire. Votre influence positive restera gravée dans ma mémoire, et je suis reconnaissante d'avoir eu la chance de travailler sous votre direction et votre encadrement.

Un gros merci à mon fils René-Charles David.

Évaluation des filières de gestion des déchets biomédicaux non anatomiques : étude de cas de l'agglomération de Montréal

Sandrine Ivy NGANDO LOBE

RÉSUMÉ

La gestion des matières résiduelles, en particulier les déchets biomédicaux, représente un enjeu en raison des risques infectieux qu'elle engendre pour la santé des travailleurs des établissements de santé ainsi que pour celle des populations. Les déchets biomédicaux constituent une catégorie particulière de déchets produite par les établissements de santé. En considération du cadre législatif et des normes réglementaires qui encadrent la gestion des déchets biomédicaux au Québec, la perception du risque dans le contexte du principe de précaution préconise la désinfection (autoclave) et l'incinération en tant que principales méthodes de traitement des déchets biomédicaux. Cela met ainsi en second plan les considérations environnementales, sociales et économiques.

L'objectif principal de cette étude est de formuler une démarche de gestion responsable des déchets biomédicaux non anatomiques (DBMNA) dans l'agglomération de Montréal. Les sous-objectifs consistent à : (1) produire une représentation visuelle des gisements de déchets biomédicaux non anatomiques au sein du réseau de la santé de l'île de Montréal, (2) réaliser une analyse des flux de matière (les entrées, les sorties et les transformations), de scénarios multifilières de traitement des déchets biomédicaux non anatomiques (DBMNA), (3) évaluer la performance des filières de gestion intégrée définies sur la base de l'analyse multicritère.

La production annuelle de DBMNA varie significativement entre les unités d'hébergement et les unités d'hospitalisation. Sur l'ensemble des CIUSSS, en se basant sur un ratio de 0,30 t/lit/an de DBMNA généré, les unités d'hébergement produisent 5891 t/an (22 643 lits dressés/an), tandis que les unités d'hospitalisation en génèrent 3695 t/an (12 228 lits dressés/an), ce qui représente un écart global de 59 %. La nature des scénarios étudiés présentent des avantages et désavantages selon les critères environnementaux, financiers, sociaux et de santé publique. Cependant, la désinfection-gazéification est celui qui présente des avantages sur l'ensemble de ces critères.

En ce qui a trait aux perspectives de l'étude, un projet pilote permettrait d'évaluer la variabilité des quantités de DBMNA en s'appuyant sur des données issues des différents types d'installations hospitalières.

Mots-clés : déchets biomédicaux non anatomiques, risque biologique, économie circulaire, incinération, autoclave

Evaluation of non-anatomical biomedical waste management sectors: case study of the Montreal agglomeration

Sandrine Ivy NGANDO LOBE

ABSTRACT

The management of residual materials, in particular biomedical waste, poses a problem within a complex dynamic system which encompasses the interaction between the anthroposystem (the human system) and the natural ecosystem. Biomedical waste constitutes a specific category of waste produced by healthcare establishments. In consideration of the legislative framework and regulatory standards that govern the management of biomedical waste in Quebec, the perception of risk in the context of the precautionary principle recommends disinfection (autoclave) and incineration as methods of treating biomedical waste. This puts environmental, social and economic considerations in the background.

The main objective of this study is to formulate an approach for the responsible management of non-anatomical biomedical waste (NABW) in the Montreal metropolitan area. The sub-objectives consist of: (1) producing a visual representation of non-anatomical biomedical waste deposits within the health network of the Island of Montreal, (2) carrying out an analysis of material flows (inputs, outputs and transformations), of multi-stream scenarios for the treatment of non-anatomical biomedical waste (NABW), (3) evaluating the performance of the integrated management streams defined on the basis of the multi-criteria analysis.

The production of NABW varies significantly between accommodation units and hospitalization units. Across all CIUSSS, accommodation units generate 5891 t/year, compared to 3695 t/year for hospitalization units, that is an overall difference of 59%. The evaluated scenarios present advantages and disadvantages according to environmental, financial, social and public health criteria. However, disinfection-gasification is the one which presents advantages on all these criteria.

Regarding the prospects of the study, a pilot project would make it possible to evaluate the variability of the quantities of NABW based on evidence for the different types of hospital facilities.

Keywords: non-anatomical biomedical waste, biological risk, circular economy, incineration, autoclave

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 ÉTAT DES CONNAISSANCES.....	3
1.1 Matières résiduelles en milieu hospitalier.....	3
1.1.1 Structures organisationnelles générant des matières résiduelles	3
1.1.2 Catégories de déchets issus des soins de santé	7
1.1.3 Flux de déchets issus des soins de santé	9
1.1.4 Impacts environnementaux associés à la gestion des matières résiduelles (déchets biomédicaux non anatomiques)	14
1.2 Gestion intégrée des déchets biomédicaux non anatomiques	17
1.2.1 Dispositifs législatifs et gestion des déchets biomédicaux non anatomiques	19
1.2.2 Principes de gestion des déchets biomédicaux non anatomiques	23
1.2.3 Procédés de traitement déchets biomédicaux non anatomiques	27
1.3 Méthodes d'analyse multicritère d'aide à la décision.....	30
1.3.1 Analyse multicritère comme outil d'aide à la prise de décision	31
1.3.2 Familles de méthodes multicritères	33
1.3.3 Étapes et critères d'une analyse multicritère	34
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE.....	37
2.1 Contexte de l'étude	37
2.2 Quantification des flux de déchets biomédicaux non anatomiques	39
2.3 Scénarios de gestion de déchets biomédicaux non anatomiques	42
2.4 Processus d'aide à la prise de décision	47
2.4.1 Grille de critères d'évaluation des scénarios	47
2.4.2 Méthodes d'analyse multicritère PROMETHEE.....	53
2.4.3 Pondération des critères	55
CHAPITRE 3 RÉSULTATS	57
3.1 Cartographie des gisements de déchets biomédicaux non-anatomiques du territoire à l'étude.....	57
3.2 Bilan des flux de déchets biomédicaux non-anatomiques	64
3.3 Analyse comparée des alternatives de gestion de filières de fin de vie des déchets biomédicaux non anatomiques.....	69

CHAPITRE 4	DISCUSSION	77
4.1	Décision en matière de gestion intégrée des déchets biomédicaux non anatomiques .	77
4.2	Implications pratiques et théoriques des résultats.....	79
4.3	Limites et perspectives.....	80
4.3.1	Limites de l'étude	80
4.3.2	Perspectives et recommandations	83
CONCLUSION	87
ANNEXE I	DONNÉES DE BASE.....	89
ANNEXE II	GÉNÉRATEURS DE DÉCHETS BIOMÉDICAUX NON ANATOMIQUES	91
ANNEXE III	ANALYSE MULTICRITÈRE DES SCÉNARIOS	94
LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		97

LISTE DES TABLEAUX

	Page	
Tableau 1.1	Organisation des établissements du réseau socio-sanitaire de Montréal Adapté de MSSS (2024)	5
Tableau 1.2	Capacité de lits autorisés au permis des installations sanitaires par mission Tiré de MSSS (2004)	6
Tableau 1.3	Classification de Spaulding des déchets biomédicaux Tiré de Agence de santé publique du Canada (2010)	9
Tableau 1.4	Quantité moyenne annuelle des déchets d'activités de soins au Canada Tiré de Canadian Coalition for Green Healthcare (2020).....	11
Tableau 1.5	Portrait de la gestion des matières résiduelles dans le réseau de la santé publique et privé Tiré de RECYC-QUEBEC (2009).....	12
Tableau 1.6	Impacts négatifs des filières de traitement et valorisation des matières résiduelles (déchets biomédicaux) Adapté de Synergie Santé Environnement (2018) et BAPE (2005).....	15
Tableau 1.7	Acteurs institutionnels concernés par la gestion des matières résiduelles incluant les déchets biomédicaux sur l'île de Montréal Adapté de MSSS (2017)	18
Tableau 1.8	Encadrement des activités de gestion des déchets biomédicaux Tiré de REAFIE (2023)	21
Tableau 1.9	Aspects de sécurité environnementale et professionnelle des technologies de traitement Adapté de PNUE (2012)	28
Tableau 2.1	Portrait des établissements du réseau socio-sanitaire de Montréal.....	38
Tableau 2.2	Unités de soins génératrices de déchets biomédicaux non anatomiques ...	39
Tableau 2.3	Jeux de données de l'étude de cas appliquées à la cartographie des gisements.....	40
Tableau 2.4	Fraction de la catégorie de matériaux des déchets d'activités de soins	41

Tableau 2.5	Classification du matériel médical selon Spaulding Adapté de INSPQ (2014)	43
Tableau 2.6	Scénarios de gestion des déchets biomédicaux non anatomiques	44
Tableau 2.7	Représentation conceptuelle des scénarios de récupération des déchets biomédicaux non anatomiques.....	45
Tableau 2.8	Sources et valeurs du ratio de recyclage	46
Tableau 2.9	Grille des critères et leur description	48
Tableau 2.10	Coefficients d'émissions de GES des stratégies de gestion des matières résiduelles (t CO ₂ e/tonne) Adapté de IFC Consulting (2005).....	50
Tableau 2.11	Effets sur l'énergie des options de gestion des matières résiduelles (t eCO ₂ /tonne) Adapté de ICF Consulting (2005).....	51
Tableau 2.12	Estimation des coûts de revient des flux de DBMNA	52
Tableau 2.13	Comparatif technique des technologies de traitement Adapté de UNEP (2012)	53
Tableau 2.14	Critères et paramètres associés (interface Visual PROMÉTHÉE)	56
Tableau 3.1	Valeurs de base du bilan de flux	57
Tableau 3.2	Comparaison du volume de déchets biomédicaux non anatomiques par installation du réseau sanitaire de Montréal.....	59
Tableau 3.3	Les étapes de retraitements des dispositifs médicaux critiques Adapté de INSPQ (2014)	67
Tableau 3.4	Synthèse des forces et faiblesses des technologies de traitement des scénarios Adapté de UNEP (2012)	68
Tableau 3.5	Données pour chacun des quatre scénarios de traitement des DBMNA ...	70
Tableau 3.6	Flux et classement PROMETHÉE des scénarios.....	74

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1 Acteurs d'un réseau territorial ou local de services de santé et de services sociaux Tiré de MSSS (2004)	6
Figure 1.2 Arborescence de déchets biomédicaux Tiré de Synergie Santé Environnement (2018).....	8
Figure 1.3 Composition typique des déchets hospitaliers Tiré de OMS (2014).....	10
Figure 1.4 Proportion de déchets biomédicaux générée par les établissements de santé au Québec Tiré de Synergie Santé Environnement (2018).....	14
Figure 1.5 Répartition de l'empreinte mondiale du secteur de la santé a) périmètre GHGP; b) dix émetteurs principaux; c) secteur de production (suite) Adapté de Health Care Without Harm, (2019)	17
Figure 1.6 Chaîne de valeur des déchets biomédicaux non anatomiques Adapté de MSSS (2017)	18
Figure 1.7 Règlementation en cours au Québec : analyse comparée de ce qui se passe ailleurs dans le monde Tiré de Synergie Santé Environnement (2018).	23
Figure 1.8 Structure d'une économie de soins de santé linéaire et circulaire Tiré de Dawson (2022)	24
Figure 1.9 Les différents modèles multicritères (non exhaustif) Tiré de Buronfosse (2018)	33
Figure 2.1 Territoire à l'étude Adapté de Direction des services régionaux de Montréal (2015).....	38
Figure 3.1 Répartition géographique des gisements de déchets biomédicaux non anatomiques par unité de soins	61

Figure 3.2	Bilan des flux de DBMNA pour les quatre scénarios a) décontamination et enfouissement; b) stérilisation et reconditionnement; c) désinfection et recyclage; d) désinfection et valorisation énergétique	65
Figure 3.3	Représentation en diamant des résultats obtenus avec PROMÉTHEE pour les différents profils de pondération	71

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ACMTS	Agence canadienne des médicaments et des technologies de la santé
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AHP	<i>Analytical hierarchy process; Analyse hiérarchique des procédés</i>
AMCD	Aide multicritère à la décision
CHSLD	Centre d'hébergement et de soins de longue durée
CH	Centre hospitalier
CIUSSS CSIM	Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Centre-Sud-de l'Île de Montréal
CISSS-CIUSSS	Centre intégré de santé et de services sociaux-Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux
CLSC	Centre local de services communautaires
CPEJ	Centre de protection de l'enfance et de la jeunesse
CR	Centre de réadaptation
CRD	Construction rénovation démolition
DAOM	Déchets assimilés aux ordures ménagères
DAE	Déchets d'activités économiques
DAS	Déchets d'activité de soins
DBMNA	Déchets biomédicaux non anatomiques
DBM	Déchets biomédicaux
ELECTRE	Élimination Et Choix Traduisant la Réalité
GES	Gaz à effet de serre

GHGP	<i>Greenhouse Gas Protocol; Protocole sur les gaz à effet de serre</i>
HMW	<i>Ultra-high-molecular-weight polyethylene; Polyéthylène à poids moléculaire élevé</i>
HDPE	<i>High-density polyethylene; Polyéthylène à haute densité</i>
ICI	Industries commerces et institution
INSPQ	Institut National de Santé publique du Québec
LET	Lieux d'enfouissement technique
LDPE	<i>Low density polyethylene; Polyéthylène à basse densité</i>
LQE	Loi sur la qualité de l'environnement
MMUU	Matériel médical à usage unique
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
NHS	<i>National Health Services; Services nationaux de santé</i>
OMS	Organisation mondiale de la santé
PET	Polyéthylène Téréphthalate
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PP	Polypropylène
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organisation Methods for Enrichement Evaluation; Méthodes d'organisation du classement des préférences pour l'évaluation de l'enrichissement</i>
PS	Polystyrène
PVC	Polychlorure de vinyle
RDBM	Règlement sur les déchets biomédicaux
REAFIE	Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement

SSE

Synergie santé environnement

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

kg/hab	kilogramme par habitant
Mt CO ₂ e	millions de tonnes équivalent CO ₂
p	seuil de préférence
P[dk (ai, aj)]	index de préférence
q	seuil d'indifférence
tm	tonne métrique
V	valeur incrémentée (analyse de sensibilité)
V _{min}	valeur minimum incrémentée (analyse de sensibilité)
V _{max}	valeur maximum incrémentée (analyse de sensibilité)

INTRODUCTION

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), environ 85 % des déchets produits par les hôpitaux sont des déchets généraux, tandis que les 15 % restants sont des déchets biomédicaux. Parmi ces déchets biomédicaux, environ 10 % sont des déchets infectieux, et 5 % sont des déchets non infectieux, soit radioactifs et chimiques (Mitiku, 2022). Ces dernières années, la question des déchets médicaux suscite une préoccupation croissante à l'échelle mondiale (Mohammad et Habibur, 2018). En effet, le volume de déchets biomédicaux a connu une augmentation significative, notamment en raison de l'accroissement de la population (clientèle hospitalière) et de l'application de normes d'hygiène de plus en plus strictes dans les établissements de santé. Cette augmentation est également attribuée à l'accroissement de l'utilisation de matériel médical à usage unique (Pury, 2004). La gestion des déchets médicaux engendre des défis liés à la collecte, au tri et à l'élimination (Mustafa et al., 2022).

Les déchets, et plus spécifiquement les déchets hospitaliers, font partie de ces domaines qui bénéficient d'une surveillance accrue en raison de leur impact direct sur la santé humaine. Cela explique la nécessité de garantir une gestion adéquate de ces derniers pour éviter des risques sanitaires et environnementaux, ainsi que pour minimiser les coûts liés à leur traitement. En conséquence, les législateurs adoptent des mesures spécifiques pour encadrer la gestion des déchets hospitaliers (Loaec, 2019). La distinction réglementaire des déchets biomédicaux par rapport aux déchets ordinaires repose sur les risques inhérents à ces déchets et sur la nécessité d'appliquer des mesures spécifiques pour assurer une gestion sécuritaire. Le risque biologique inhérent aux déchets biomédicaux est la raison principale pour laquelle ceux-ci ne sont pas faciles à valoriser. Les institutions sanitaires ont conscience de la nécessité de se doter d'alternatives de technologies de banalisation ou de valorisation (MSSS, 2017).

Le choix des filières de traitement et de valorisation des déchets biomédicaux est influencé par de multiples facteurs (CICR, 2011). Les enjeux soulevés par une gestion intégrée des DBMNA

sont non seulement d'ordre environnementaux, sociaux, économiques mais aussi de la santé publique.

L'objectif principal de cette étude est de réaliser une étude comparative de scénarios de traitement et de valorisation des déchets biomédicaux non anatomiques en intégrant des pratiques de recyclage, de valorisation énergétique, de reconditionnement tout en tenant compte des risques de contamination. La démarche déployée dans le cadre du projet s'inscrit dans le contexte du réseau de la santé de l'agglomération de Montréal. L'étude est subdivisée en trois sous-objectifs distincts :

- produire une représentation visuelle des gisements de déchets biomédicaux non anatomiques au sein du réseau de la santé de l'île de Montréal;
- réaliser une analyse des flux de matière (les entrées, les sorties et les transformations), de scénarios multifilières de traitement des déchets biomédicaux non anatomiques (DBMNA);
- évaluer la performance des scénarios de gestion des DBMNA à l'aide d'une analyse multicritère.

Le présent mémoire est structuré en quatre chapitres principaux. Le premier présente un état des connaissances qui identifie et justifie l'intérêt de la recherche en lien avec les défis inhérents à la gestion des matières résiduelles dans les établissements de santé, mettant l'accent sur les enjeux associés aux déchets biomédicaux par rapport aux travaux scientifiques précédemment réalisés. Le deuxième chapitre aborde la méthodologie et explicite les méthodes utilisées pour atteindre les différents objectifs spécifiques du projet. Le troisième chapitre présente les résultats de l'étude, notamment la cartographie des quantités des déchets biomédicaux non anatomiques générés dans le réseau de la santé de l'île de Montréal, les scénarios de gestion et leur évaluation multicritère. Finalement, le chapitre quatre présente une discussion approfondie sur ces résultats et des recommandations sont formulées.

CHAPITRE 1

ÉTAT DES CONNAISSANCES

Ce chapitre est organisé en trois parties distinctes. La première partie aborde entre autres les enjeux et la typologie des matières résiduelles dans les milieux hospitaliers, en mettant l'accent notamment sur les déchets biomédicaux. La deuxième partie se concentre sur les processus de gestion intégrée, ainsi que sur les principes de traitement et de valorisation des déchets biomédicaux non anatomiques, tout en abordant les risques biologiques qui y sont associés. Finalement, la troisième partie présente la démarche d'aide à la prise de décision et plus spécifiquement l'analyse multicritère, tout en explorant les différentes approches qui existent.

1.1 Matières résiduelles en milieu hospitalier

D'après la loi sur la qualité de l'environnement (1992), la matière résiduelle est définie comme « tout résidu d'un processus de production de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau ou produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que le détenteur destine à l'abandon ». Cette première section présente les différents générateurs de déchets biomédicaux ainsi que les bilans des déchets d'activités de soins (DAS) et de déchets biomédicaux (DBM) en pourcentage des bilans des matières résiduelles totaux en termes de quantité, de performance de gestion, ainsi que les enjeux environnementaux associés.

1.1.1 Structures organisationnelles générant des matières résiduelles

Le réseau de la santé publique du Québec, y compris le réseau de la santé et des services sociaux de l'agglomération de Montréal, a été l'objet de plusieurs réformes au fil du temps. Après l'établissement des Régies régionales en 1992, le modèle de fonctionnement du réseau de la santé publique a reposé principalement sur un système comprenant trois niveaux : le niveau local, le niveau régional et le niveau national (Grenier et Bourke, 2014). Cependant, la réforme de 2015 a conduit à la suppression des agences régionales de la santé et des services

sociaux, tout en instituant les centres intégrés de santé et de services sociaux (CISSS) et les centres intégrés universitaires de santé et de services sociaux (CIUSSS) comme nouvelles structures régionales. Ces centres sont le résultat de la fusion des établissements publics, incluant les centres locaux de services communautaires (CLSC), au sein de chaque région socio-sanitaire. Depuis 2015, les organismes locaux et régionaux sont désormais regroupés au sein d'une seule entité, à savoir les CISSS-CIUSSS. Par conséquent, le système de santé est passé d'une structure à trois niveaux (ministère de la santé et des services sociaux - agences - centres de santé et de services sociaux) à une structure à deux niveaux (MSSS – CISSS - CIUSSS) (CSBE, 2022).

Les établissements des CISSS-CIUSSS mettent à la disposition de la population des services généraux et spécialisés, conformément aux cinq grandes missions établies par la Loi sur les services de santé et les services sociaux (RLRQ, chapitre S-4.2), en fonction de leur type d'exploitation, soit :

- centre local de services communautaires (CLSC);
- centre hospitalier (CH);
- centre d'hébergement et de soins de longue durée (CHSLD);
- centre de protection de l'enfance et de la jeunesse (CPEJ);
- centre de réadaptation (CR) (MSSS, 2017).

Les personnels soignants exercent leur profession dans divers environnements, notamment des cliniques médicales (groupe de médecine de famille, cabinets individuels ou en groupes de quelques médecins, ainsi que des médecins en pratique solo), des CLSC, des CHSLD et des hôpitaux (DRMG, 2022). Ce personnel est actif dans de nombreux domaines de services de santé de première et de deuxième ligne.

Si la réforme du réseau de la santé publique a modifié la structure organisationnelle à l'échelle du Québec, à Montréal, elle se traduit par la répartition des municipalités entre cinq CIUSSS

(établissements non fusionnés), regroupant 12 RLS (Réseaux locaux de services), ainsi que cinq établissements fusionnés, tel que présenté dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1 Organisation des établissements du réseau socio-sanitaire de Montréal
Adapté de MSSS (2024)

Établissements de santé	
Fusionnés	Non fusionnés
Centre hospitalier de l'Université de Montréal	CIUSSS de l'Ouest de l'île-de-Montréal
Centre universitaire de santé McGill	CIUSSS du Centre-Ouest de l'île-de-Montréal
Centre hospitalier universitaire Sainte-Justine	CIUSSS du Centre-Sud de l'île-de-Montréal
Institut de Cardiologie de Montréal	CIUSSS du Nord de l'île-de-Montréal
Institut national de psychiatrie légale Philippe-Pinel	CIUSSS de l'Est de l'île-de-Montréal

À Montréal, trois catégories de CHSLD se distinguent : les CHSLD publics, les CHSLD privés conventionnés et les CHSLD privés non conventionnés. Les CHSLD privés non conventionnés sont entièrement gérés par un propriétaire indépendant, tandis que les CHSLD publics et les CHSLD privés conventionnés bénéficient de l'intervention de l'État dans leur gestion (CSSS, 2013). La figure 1.1 illustre les acteurs du réseau territorial ou local de services de santé et de services sociaux, tandis que le tableau 1.2 présente la capacité de lits autorisés par mission des installations sanitaires dans la région de Montréal (06).

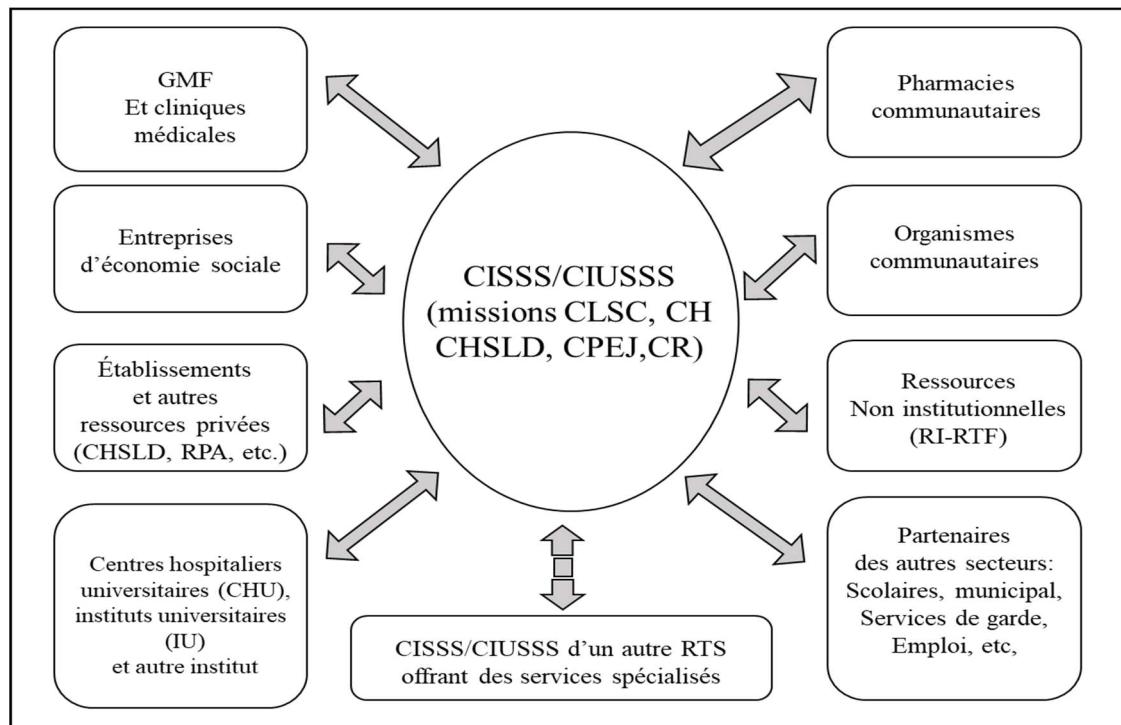


Figure 1.1 Acteurs d'un réseau territorial ou local de services de santé et de services sociaux
Tiré de MSSS (2004)

Dans un réseau territorial ou local de services de santé et de services sociaux, les « capacités » désignent le nombre de lits disponibles, tel qu'indiqué sur les permis d'opération délivrés par le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS). Le tableau 1.2 présente la capacité en lits autorisés pour chaque installation sanitaire par mission, conformément aux permis délivrés.

Tableau 1.2 Capacité de lits autorisés au permis des installations sanitaires par mission
Tiré de MSSS (2004)

Région : Montréal	Capacité [Lits autorisés au permis]		
	Public	Privé	Total
Mission			
Centre hospitalier (CH)	7 466	474	7 940
Centre d'hébergement et de soins de longue durée (CHSLD)	10 131	3 357	13 488
Centre de réadaptation (CR)	1 841	163	2 004

1.1.2 Catégories de déchets issus des soins de santé

L'un des objectifs de la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles est d'inciter à la responsabilisation de tous les acteurs impliqués dans la gestion des matières résiduelles. Cela englobe plusieurs aspects, notamment responsabiliser les producteurs, soutenir la planification et l'efficacité au niveau régional, encourager la performance des institutions, commerces et industries (ICI) ainsi que de la filière de construction rénovation et démolition (CRD), choisir le système de collecte le plus performant, informer, sensibiliser et éduquer les citoyens, et rendre compte des résultats obtenus dans ce domaine (MELCCFP, 2011).

Le concept de déchets d'activités de soins, tel que défini par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) en 2014, fait référence à « tous les déchets générés au sein des établissements de santé, des centres de recherches et des laboratoires liés aux procédures médicales ». Les générateurs secondaires de déchets d'activités de soins (dialyse à domicile, auto-administration d'insuline) sont également considérés dans cette définition. Pour le gouvernement du Québec (2017), les matières résiduelles du réseau de la santé et des services sociaux du Québec proviennent essentiellement d'activités de soins, de diagnostic ou de recherche et sont divisées en sept catégories, à savoir : déchets généraux; déchets biomédicaux; déchets chimiques; déchets radioactifs; déchets électroniques; déchets contenant des métaux lourds et déchets recyclables. En outre, selon Loaec (2019), les déchets hospitaliers peuvent être classés en trois groupes tels que : (i) les déchets assimilés aux ordures ménagères (DAOM) lesquels ne comportent aucun risque de contamination; (ii) les déchets d'activités économiques (DAE) dont la collecte est assimilable au groupe précédent; (iii) les déchets d'activités de soins (DAS) qui sont des « déchets issus des activités de diagnostics, de suivi et de traitement préventif, curatif ou palliatif, dans le domaine de la médecine humaine et vétérinaire ».

Les déchets biomédicaux au Québec sont identifiés sur la base de quatre grands groupes, notamment les déchets biomédicaux anatomiques humains, les déchets biomédicaux

anatomiques animaux, les déchets non anatomiques et les déchets biomédicaux provenant de l'extérieur du Québec (MELCC, 1992). Les déchets biomédicaux non anatomiques, tels qu'illustrés dans la figure 1.2 sont les suivants (Règlement sur les déchets biomédicaux, 2023) :

- un objet piquant, tranchant ou cassable désigné « objet piquant médical » et « objet piquant domestique » dépendamment qu'il provienne de soins médicaux ou d'activités domestiques;
- « un tissu biologique, une culture cellulaire, une culture de micro-organismes ou du matériel en contact avec ce tissu ou cette culture, provenant d'un laboratoire de biologie médicale ou vétérinaire »;
- un vaccin de souche vivante;
- « un contenant de sang ou du matériel ayant été imbibé de sang, provenant de soins médicaux, d'un laboratoire de biologie médicale ou de l'exercice de la thanatopraxie ».



Figure 1.2 Arborescence de déchets biomédicaux
Tiré de Synergie Santé Environnement (2018)

Le système de santé génère des déchets biomédicaux en raison de l'utilisation de multiples instruments, équipements et dispositifs médicaux réutilisables et à usage unique dans la

prestation des soins de santé (Plamondon, 2014). La classification de Spaulding (1957) de ces dispositifs médicaux vise à évaluer les risques associés à la réutilisation des dispositifs médicaux retraités. Cette classification classe les dispositifs en trois catégories en fonction du niveau de risque, tel qu'illustré dans le tableau 1.3. Ainsi, les technologies de banalisation des déchets biomédicaux sont arrimées au mode de désinfection et de stérilisation (McDonnell et Burke, 2011).

Tableau 1.3 Classification de Spaulding des déchets biomédicaux
Tiré de Agence de santé publique du Canada (2010)

Classe	Utilisation	Exemples d'instrument	Exigences minimales requises pour le retraitement
NON CRITIQUE	Instrument en contact avec la peau intacte	Stéthoscope	Nettoyage suivi d'une désinfection de niveau intermédiaire ou de bas niveau selon le degré de contamination
		Brassard de tensiomètre	
SEMI CRITIQUE	Instrument en contact avec des muqueuses intacte ou la peau non intacte	Endoscope digestif	Nettoyage suivi d'une désinfection de haut niveau (DHN)
		Bronchoscope	
		Cystoscope	
CRITIQUE	Instrument pénètre des tissus stériles, le système vasculaire ou de cavité du corps	Pince biopsie	Nettoyage suivi d'une stérilisation
		Anse d'ablation de polype	
		Instrument chirurgical	
		Arthroscope	

1.1.3 Flux de déchets issus des soins de santé

La première étape de toute gestion responsable des matières résiduelles commence par la caractérisation des gisements, en termes de quantités générées, traitées, valorisées et éliminées.

D'après l'Organisation mondiale de la Santé (2015), seuls 15 % des déchets générés au sein d'un hôpital seraient considérés comme dangereux, notamment les déchets biomédicaux, les déchets pharmaceutiques, les déchets chimiques, les déchets radioactifs, les déchets électroniques et ceux contenant des métaux lourds. En revanche, 85 % des déchets sont composés de déchets généraux et recyclables. La figure 1.3 représente la répartition des déchets hospitaliers selon l'Organisation mondiale de la santé.

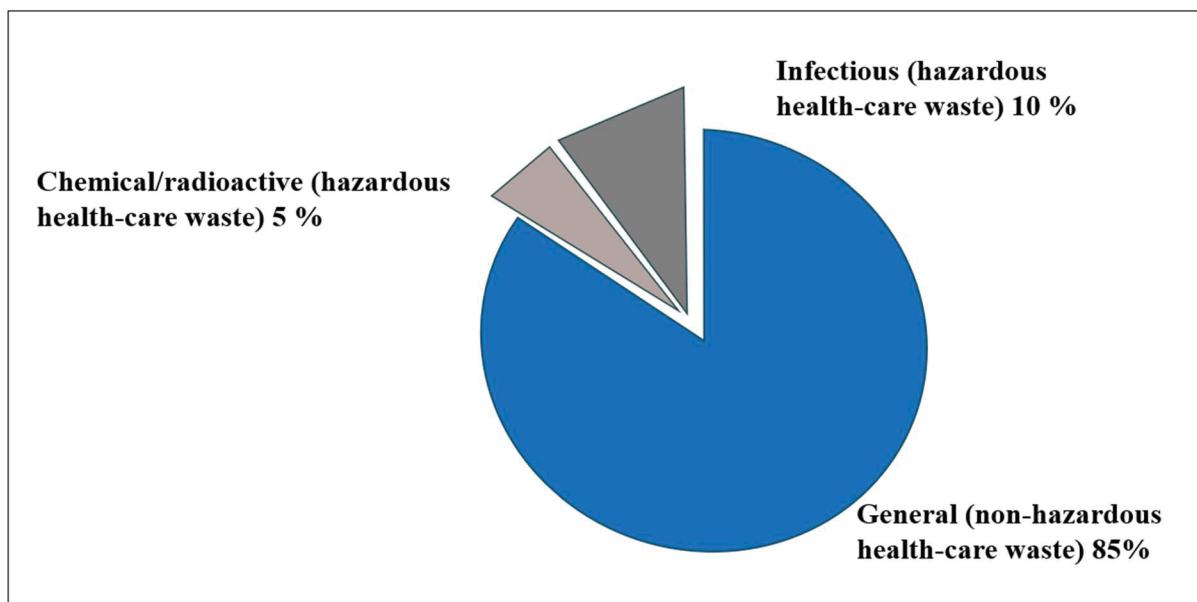


Figure 1.3 Composition typique des déchets hospitaliers
Tiré de OMS (2014)

Le tableau 1.4 illustre la quantité moyenne de déchets générés chaque année par les activités de soins au Canada, en fonction de leur type (matières recyclables et autres réutilisables).

Tableau 1.4 Quantité moyenne annuelle des déchets d'activités de soins au Canada
Tiré de Canadian Coalition for Green Healthcare (2020)

Type de déchets	Total des déchets / matières générés (t/an)	Pourcentage relatif (%)
Général non dangereux	44 425	56,4
Déchets biomédicaux	9228	11,7
Matières recyclables et autres déchets réutilisables		
Papier et carton	12 850	16,3
Piles, produits électroniques et lampes	610	0,8
Déchets métalliques	520	0,7
Déchets de bois et palettes	960	1,2
Objets tranchants ou pointus	760	1
Matières organiques	3330	4,2
Bac de recyclage (bouteilles de plastique, canettes, etc.)	6100	7,7
Total des déchets/matières	78 785	100

Selon une étude de RECYC-QUÉBEC (2009), le réseau de la santé du Québec générerait potentiellement un total de 97 701 t/an de matières résiduelles, soit environ 36,8 % des matières produites dans le sous-secteur institutionnel. Les catégories de matières qui génèrent les plus grandes quantités de déchets sont le papier, le carton, les résidus alimentaires, d'autres déchets organiques, ainsi que des matières qui ne peuvent pas être valorisées ou recyclées. Au Québec, environ 85 % des déchets biomédicaux sont produits par les hôpitaux. Les 15 % restants sont répartis entre différents types d'installations sanitaires et de praticiens de la santé, notamment des laboratoires, des cliniques privées, des dentistes, des salons funéraires et des prestataires de soins à domicile (MELCCFP, 2023). De plus, les déchets biomédicaux correspondent à 2 % du volume des déchets domestiques municipaux (SSE, 2018). Selon les calculs de Synergie Santé Environnement (2018), les déchets pharmaceutiques et biomédicaux représentent environ 15 % des déchets générés par les établissements de santé et de services sociaux du Québec. Synergie Santé Environnement (2013) a calculé qu'avec une capacité de 250 lits, 0,17

t/lit/an de déchets biomédicaux sont produites. En revanche, le Centre hospitalier de l'Université de Montréal (2010) indique qu'avec 650 lits, 0,57 t/lit/an de déchets biomédicaux sont générées. Quant à *Compendium of Technologies for the Treatment/Destruction of Healthcare Waste* (2012) le ratio de déchets biomédicaux générés est de 0,20 t/lit/an.

Le tableau 1.5 met en évidence que le secteur de la santé au Québec, qu'il soit public ou privé, produit également une quantité significative de matériel médical souillé qui ne peut pas être mis en valeur ou recyclé. Cela dit, le taux de récupération estimé des matières dans le secteur de la santé en 2008, dont le matériel médical, est de 11,4 % (RECYC-QUÉBEC, 2009).

Tableau 1.5 Portrait de la gestion des matières résiduelles dans le réseau de la santé publique et privée
Tiré de RECYC-QUEBEC (2009)

Catégorie de matières	Quantité générée		Quantité éliminée		Quantité récupérée		Taux de récupération
	t/an	kg/employé/an	t/an	kg/employé/an	t/an	kg/employé/an	
Papier	8 482	18,6	2 417	5,31	6,06	13,3	71,5
Carton	5 956	13,0	3 221	7,07	2,73	6,01	45,9
Verre	740	1,63	635	1,39	105	0,23	14,2
Métaux ferreux	2 015	4,43	1 233	2,71	782	1,72	38,8
Métaux non ferreux	717	1,57	707	1,55	10	0,02	1,4
Plastique polystyrène	1 896	4,16	1 896	4,16	0	0	0
Plastique rigide	2 904	6,38	2 207	4,85	697	1,53	24
Plastique souple	3	0,01	3	0,01	0	0	0
TIC	92	0,2	0	0	92	0,20	100
CRD	-	-	-	-	-	-	-
RDD	164	0,36	0	0	164	0,36	100
Résidus alimentaires	23 921	52,5	23 921	52,5	0	0,00	0
Résidus verts	3	0,01	0	0	3	0,01	100

Tableau 1.5 Portrait de la gestion des matières résiduelles dans le réseau de la santé publique et privé (suite)
Tiré de RECYC-QUEBEC (2009)

Catégorie de matières	Quantité générée		Quantité éliminée		Quantité récupérée		Taux de récupération
	t/an	kg/employé/an	t/an	kg/employé/an	t/an	kg/employé/an	
Autres résidus organiques	11 197	24,6	11197	24,6	0	0	0
Encombrants	175	0,38	175	0,38	0	0	0
Contenants composites	3	0,01	3	0,01	0	0	0
Bois	520	1,14	68	0,15	452	0,99	86,9
Textile	-	-	-	-	-	-	-
Matières non valorisables	38 912	85,5	38 881	85,4	31	0,07	0,1
Total	97 701	215	86 564	190	11 137	24,5	11,4

La figure 1.4 représente la répartition des matières résiduelles en mettant en relief la proportion relative de déchets biomédicaux générés par les établissements hospitaliers au Québec. Plusieurs types de déchets biomédicaux en plastique sont produits dans les unités de soins des hôpitaux. L'ANNEXE I (Tableau-A I-1) définit les types de déchets plastiques générés dans ces unités en se basant sur une caractérisation réalisée par l'entreprise d'économie sociale SSE à l'Hôpital Pierre-Boucher de Longueuil, à l'Hôpital Jean-Talon de Montréal et à l'Hôpital de la Cité-de-la-Santé de Laval (Poirier-Parisé, 2017).

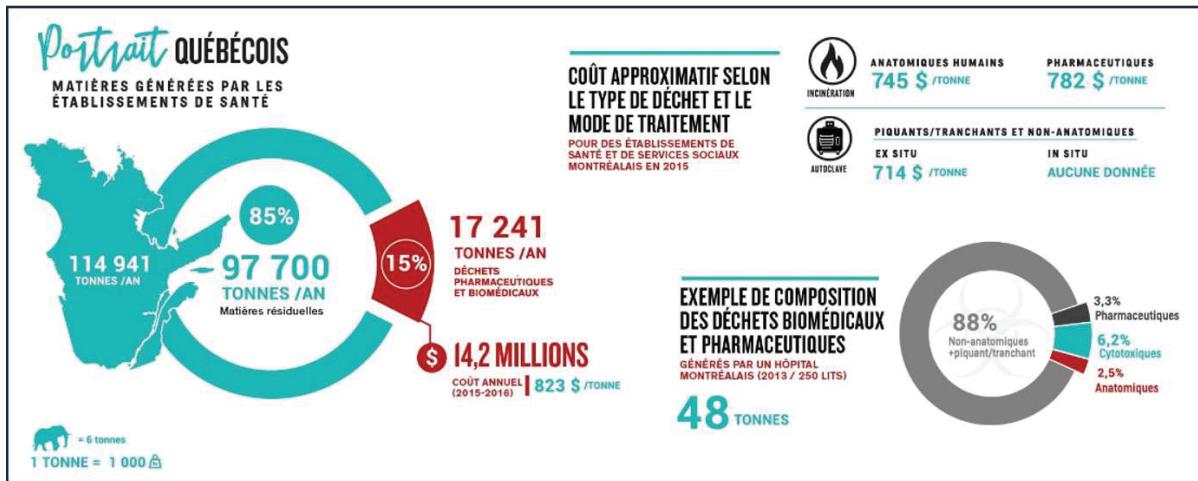


Figure 1.4 Proportion de déchets biomédicaux générée par les établissements de santé au Québec
Tiré de Synergie Santé Environnement (2018)

Ce paragraphe présente des données provenant d'autres pays dans le but d'illustrer les ordres de grandeur et d'établir des comparaisons en termes d'indicateurs de flux de DBM. D'après Gobert (2021), le bilan des déchets d'activités de soins à risque infectieux (DASRI) générés en France fait état d'environ 165 000 t/an. Le ratio de DASRI en France métropolitaine a été évalué à 2,65 kg/hab. en 2011 tandis qu'en 2008, le ratio a été calculé à 2,56 kg/hab. (ADEME, 2013). En Inde, la production de déchets biomédicaux est estimée à environ 0,55 t/lit/an à 0,73 t/lit/jour (Bansod et al., 2023).

1.1.4 Impacts environnementaux associés à la gestion des matières résiduelles (déchets biomédicaux non anatomiques)

Le secteur de la santé engendre des impacts sur différents milieux environnementaux et humains en raison de sa consommation d'énergie, de l'utilisation généralisée d'équipements médicaux jetables, et de la production de déchets (Lepoivre et Magasich-Airola, 2023). Les opérations liées à la collecte, au transport, au recyclage, à la valorisation et à l'élimination des déchets entraînent également des conséquences environnementales. Ces répercussions se

manifestent sous forme de rejets dans les eaux, d'émissions de particules, de substances chimiques ou biologiques, ainsi que de désagréments sonores et olfactifs ou encore de contamination des sols notamment avec la fraction des déchets qui est enfouie (ADEME, 2011). Les individus susceptibles d'être exposés à ces impacts sont principalement les employés et les riverains des installations de traitement et de stockage des déchets (ADEME, 2011). Le tableau 1.6 synthétise les impacts négatifs associés aux filières de traitement des matières résiduelles.

Tableau 1.6 Impacts négatifs des filières de traitement et valorisation des matières résiduelles
(déchets biomédicaux)

Adapté de Synergie Santé Environnement (2018) et BAPE (2005)

Filières de traitement	Enfouissement	Réemploi (autoclave)	Recyclage	Incinération
Impacts potentiels sur l'environnement	Risque de pollution des nappes souterraines (lixiviat)	Risques de pollution des nappes phréatiques Risques de pollution des cours d'eau	Risque de libération de polluants dans l'air (COV)	Risque de libération de polluants dans l'air (dioxines et furanne)
Impacts potentiels sur la santé	Risques de maladie cancérogènes (biogaz) Risques d'impacts physiologiques et psychologiques (pollution olfactive)	Risques de maladie respiratoire (maladies pulmonaires bronchites) Risques d'infection et de propagation	Risques d'impacts physiologiques et psychologiques (pollution olfactive)	Risques pour les systèmes reproducteur et respiratoire (bioaccumulation et biomagnification)

Selon l'ADEME (2011), les besoins en ressources et la production de déchets participent aux impacts environnementaux, en particulier au changement climatique. Dans son ensemble, la gestion des déchets est à la fois une source d'émissions de gaz à effet de serre et un acteur clé pour la réduction de ces émissions. Ce secteur contribue à la réduction des émissions grâce à

des pratiques comme la prévention, le recyclage et la valorisation des déchets, qui permettent d'éviter la libération de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Les graphiques de la figure 1.5 illustrent les trois aspects suivants : (a) la division de l'empreinte mondiale du secteur de la santé en périmètres de bilan carbone appelés scope 1, 2 et 3; (b) les dix principaux émetteurs en pourcentage de l'empreinte mondiale totale des soins de santé; (c) la répartition des émissions mondiales du secteur de la santé en fonction des secteurs de production (HCWH, 2019).

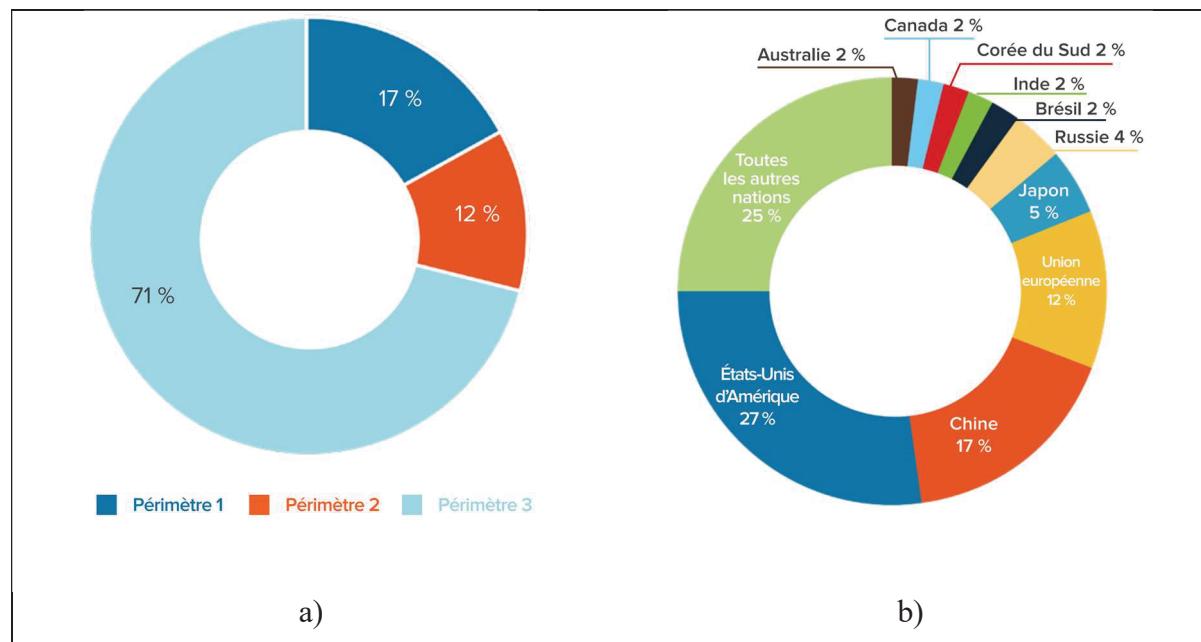


Figure 1.5 Répartition de l'empreinte mondiale du secteur de la santé

a) périmètre GHGP; b) dix émetteurs principaux; c) secteur de production

Adapté de Health Care Without Harm, (2019)

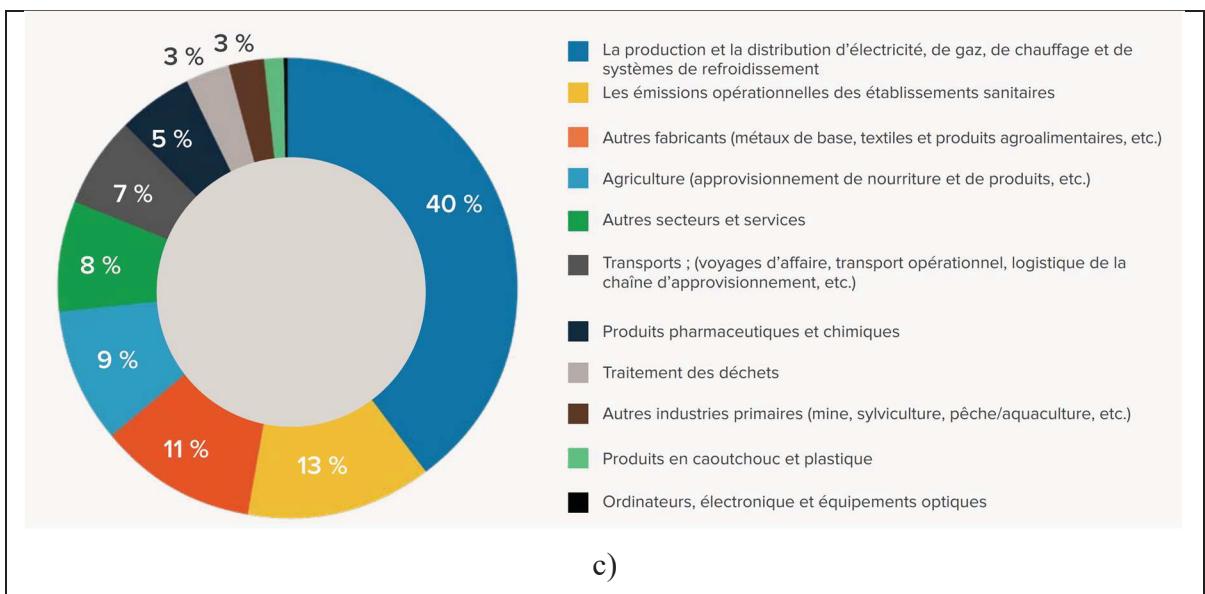


Figure 1.5 Répartition de l'empreinte mondiale du secteur de la santé
 a) périmètre GHGP; b) dix émetteurs principaux; c) secteur de production (suite)
 Adapté de Health Care Without Harm, (2019)

La figure 1.5 met en évidence que la répartition de l'empreinte mondiale du secteur de la santé se divise en trois périmètres: 71 % pour le périmètre 3 ; 12 % pour le périmètre 2 et 17 % pour le périmètre 1. De plus, la répartition des émissions mondiales du secteur de la santé en fonction des secteurs de production montre que le traitement des déchets contribue à hauteur de 3 %.

1.2 Gestion intégrée des déchets biomédicaux non anatomiques

La gestion intégrée des déchets biomédicaux non anatomiques participe à la sécurité, la santé publique et la protection de l'environnement. Les processus de la chaîne de valeur des déchets biomédicaux sont mis en évidence dans la Figure 1.6. Cette gestion est régie par un cadre législatif et réglementaire spécifique. Cette section présente une revue de la législation et de la réglementation en vigueur, le principe de priorisation des méthodes de gestion des déchets biomédicaux, ainsi que les procédés de traitement des déchets médicaux.

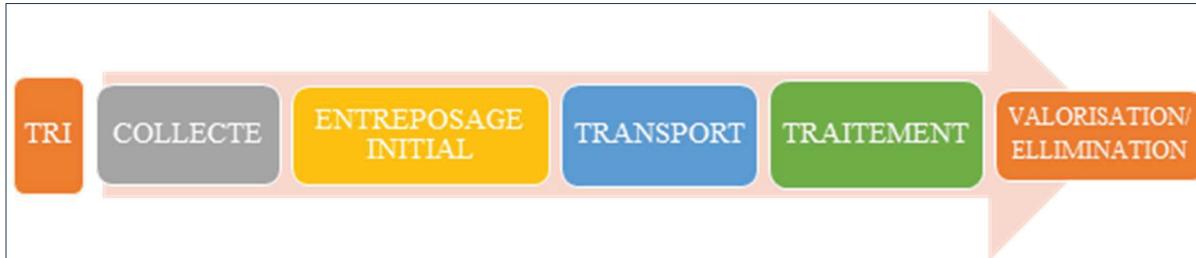


Figure 1.6 Chaîne de valeur des déchets biomédicaux non anatomiques
Adapté de MSSS (2017)

Le tableau 1.7 offre une vue d’ensemble des principales parties prenantes impliquées dans la gestion des matières résiduelles au sein du réseau de la santé de l’île de Montréal, en détaillant leurs responsabilités respectives. Ce tableau met en lumière la complémentarité de ces rôles et souligne l’importance de la collaboration entre les différents intervenants.

Tableau 1.7 Acteurs institutionnels concernés par la gestion des matières résiduelles incluant les déchets biomédicaux sur l’île de Montréal
Adapté de MSSS (2017)

Acteurs institutionnels	Rôles et responsabilités
Ministère des Affaires municipales et de l’Habitation (MAMH)	Établir, de modifier et de gérer un service public de gestion des matières résiduelles dans le but de promouvoir leur réduction, leur valorisation, et si nécessaire, leur élimination ¹
RECYC-QUEBEC	Transformer le Québec en une société où la réduction, la réutilisation, le recyclage et la valorisation des matières résiduelles sont les piliers d’une économie circulaire tout en contribuant à la lutte contre les changements climatiques ² .

¹ <https://www.mamh.gouv.qc.ca/>

² <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/>

Tableau 1.7 Acteurs institutionnels concernés par la gestion des matières résiduelles incluant les déchets biomédicaux sur l'île de Montréal (suite)
Adapté de MSSS (2017)

Acteurs institutionnels	Rôles et responsabilités
Ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) / Institut National de la Santé publique (INSP)	Planifier de manière stratégique des différentes étapes de la gestion des déchets biomédicaux non anatomiques, notamment le tri, la collecte, l'entreposage, le transport, le traitement et la valorisation. Son objectif principal est de protéger la santé publique et de minimiser les risques de contamination.
Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre le Changement Climatique (MELCC)	Élaborer des plans d'action visant à contrôler les impacts environnementaux associés aux différentes étapes de la gestion des déchets biomédicaux non anatomiques. L'accent est mis sur la préservation de l'équilibre des écosystèmes naturels en gérant de manière appropriée les aspects environnementaux tout au long de la chaîne de valeur de ces déchets.
Site producteur de déchets biomédicaux (ex. : CLSC)	Gérer quotidiennement les déchets biomédicaux pour garantir leur élimination ou leur valorisation conformément aux normes et aux réglementations en vigueur.
Services et unités de soins producteurs (ex. : unité de soins intensifs; service d'oncologie)	S'assurer que les déchets sont triés de manière appropriée, de minimiser les risques d'exposition des préposés en hygiène et salubrité.

1.2.1 Dispositifs législatifs et gestion des déchets biomédicaux non anatomiques

La protection de l'environnement est l'objectif principal de la Loi sur la Qualité de l'Environnement (LQE). Cette loi se décline sur une cinquantaine de règlements qui vise à protéger l'Homme et son écosystème. Quatre règlements encadrent la gestion des matières résiduelles au Québec (MSSS, 2017):

- règlement sur les déchets biomédicaux;
- règlement sur les matières dangereuses;
- règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles;
- règlement sur la récupération et la valorisation de produits par les entreprises.

La réglementation québécoise sur les déchets biomédicaux a pour mission d'encadrer la gestion opérationnelle des dispositifs médicaux tout le long de leur cycle de vie, depuis leur utilisation jusqu'à leur élimination en tant que déchets à risque biologique. D'ailleurs, une zone grise existe dans la réglementation sur le matériel médical à usage unique, notamment en ce qui concerne la gestion de ce matériel après usage. L'élaboration de protocoles de nettoyage et de réutilisation ou de gestion post-utilisation varie selon les pays, les contextes et les types de matériel (Plamondon, 2014).

Le Règlement portant sur les déchets biomédicaux (RDBM), qui date de 1992, établit une typologie des déchets à risque infectieux. Par ailleurs, il explicite les procédures de tri, de collecte, d'entreposage, de transport, de traitement et d'élimination des DBM. Selon cette réglementation, certaines exigences sont prescrites, notamment l'incinération ou la désinfection en tant qu'alternatives de traitement et d'élimination obligatoires pour les déchets médicaux (DBM). De plus, la compression ou le rejet des DBM dans les égouts sont interdits. Après avoir été soumis à un procédé de banalisation, les DBM perdent leur nocivité, et leur gestion est alors régie par le Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles (2005). Ce règlement établit notamment les règles « d'aménagement, d'exploitation, de fermeture et de post fermeture des lieux d'enfouissement de matières résiduelles ». Les matières dangereuses et les déchets biomédicaux selon ce règlement ne sont pas acceptés dans les lieux d'enfouissement ou dans un incinérateur (MSSS, 2017).

Le Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement (REAFIE) stipule quant à lui que les activités liées à la gestion des déchets biomédicaux sont soumises à une autorisation en vertu du paragraphe 10 du premier alinéa de l'article 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE). Cependant, certaines de ces activités, présentant un faible risque ou un risque négligeable, peuvent être éligibles pour une déclaration de conformité conformément à l'article 239 du REAFIE ou exemptées de l'obligation d'obtenir une autorisation dans certaines conditions, comme stipulé à l'article 241 du REAFIE. Par ailleurs, selon l'article 239 du REAFIE, toute activité de transport et d'entreposage de déchets biomédicaux qui n'est pas exemptée peut-être soumise à une déclaration de conformité. Le

tableau 1.8 présente la réglementation et les normes établies pour superviser et réglementer la collecte, le traitement, le transport, le stockage et l'élimination des déchets médicaux.

Tableau 1.8 Encadrement des activités de gestion des déchets biomédicaux
Tiré de REAFIE (2023)

Activités visées par l'autorisation ministérielle (AM)	Modulation de l'autorisation en fonction du risque environnemental : activités à faible risque ou à risque négligeable	
	Activités	Encadrement
Entreposage de déchets biomédicaux	La récupération et l'entreposage d'objets piquants domestiques à des fins non lucratives en vue de leur expédition à une installation qui peut légalement les recevoir	Exemption
	L'entreposage sur le lieu de leur production	Exemption
	L'entreposage dans un établissement de santé et de services sociaux public lorsque les déchets proviennent exclusivement de tels établissements, pour chacun dans une quantité inférieure à 100 kg par mois	Exemption
	L'entreposage d'objets piquants médicaux utilisés dans le cadre d'un élevage d'animaux auquel s'applique le règlement sur les exploitations agricoles, sur un lieu d'entreposage ou de récupération de ces objets	Exemption
	Toute autre activité d'entreposage de déchets biomédicaux qui n'est pas exemptée	Déclaration de conformité
Désinfection des déchets biomédicaux	La désinfection par autoclave sur le lieu de production	Exemption
	La désinfection par l'autoclave lorsque les déchets biomédicaux sont des objets piquants domestiques et qu'ils sont traités sur un lieu de production de déchets biomédicaux	Exemption
	La désinfection par autoclave dans un établissement de santé et de services public lorsque les déchets proviennent exclusivement de tels établissements, pour chacun dans une quantité inférieure à 100 kg par mois	Exemption
Transport de déchets biomédicaux	Le transport d'un chargement de moins de 5kg d'objets piquants médicaux ou d'objets piquants domestiques	Exemption
	Le transport de moins de 100 kg par mois de déchets biomédicaux effectué par le producteur de ces déchets	Exemption
	Le transport de moins de 100 kg par mois d'objets piquants domestiques effectué par l'exploitant d'un lieu de récupération ou d'entreposage (à des fins non lucratives) en vue de les expédier à une installation qui peut légalement les recevoir	Exemption
	Toutes autres activités de transport de déchets biomédicaux qui n'est pas exemptée	Déclaration de conformité
Incinération de déchets biomédicaux	Aucune activité ne doit être autorisée	AM

Ailleurs au Canada et dans le monde, les prérequis au retraitement et à la réutilisation du matériel médical à usage unique ont pour objectif de minimiser au maximum la probabilité d'exposition au danger pour les patients. Santé Canada ne réglemente pas la réutilisation des dispositifs médicaux à usage unique parce que l'agence n'est pas habilitée à traiter la question. Dans certaines provinces du Canada, la réutilisation du matériel médical critique à usage unique est interdite, notamment en Alberta, tandis que d'autres, soit la Colombie-Britannique exigent que les hôpitaux utilisent des compagnies de retraitement agréées (COM, 2010).

En Europe, en vertu de Règlement (UE) 2017/745, le retraitement et le réemploi du matériel médical à usage unique ne peuvent être envisagés dans un pays de l'Union européenne que sur la base du respect de deux exigences. Premièrement, si et seulement si la législation nationale entérine cette pratique dans le respect des résolutions ratifiées dans ledit règlement. Deuxièmement, selon le règlement susmentionné, le responsable du retraitement du matériel médical à usage unique et le fabricant du matériel médical retraité ont le même degré de responsabilité qui garantit un degré de sécurité et de performance (Journal officiel de l'Union européenne, 2017). En Allemagne, par exemple, le pays réglemente le retraitement en termes de conformité de la qualité et de formalité de validation. Cette réglementation ne fait pas de discernement entre les dispositifs médicaux uniques et les dispositifs médicaux réutilisables. Le pays concède à la fois le retraitement en interne et le retraitement par des retraiteurs tiers à condition que la procédure soit en conformité avec la réglementation allemande applicable. En revanche, au Royaume-Uni, le retraitement est contre-indiqué par l'organisme *Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency* qui insiste sur la responsabilité légale des établissements hospitaliers (COM, 2010).

En Australie, le retraitement du matériel médical à usage unique (MMUU) à l'hôpital ou par un tiers retraiteur est réglementé depuis 2003 par la *Therapeutic Goods Administration*. Le contexte réglementaire détermine le principe de responsabilité qui s'applique aux entreprises qui retirent le matériel médical à usage unique. En effet, ces entreprises de retraitement

prennent le statut de fabricants de dispositifs retraités et de ce fait sont assujetties à la norme d'évaluation de la conformité relative au produit (COM, 2010).

Pour plusieurs pays d'Asie, d'Afrique et du Moyen-Orient, la pratique de retraitement du matériel médical n'est pas réglementée (ACMTS, 2015). La figure 1.7 met en relief une analyse comparative entre le contexte réglementaire québécois et celui d'autres provinces et pays en ce qui concerne le traitement des déchets biomédicaux (DBM).

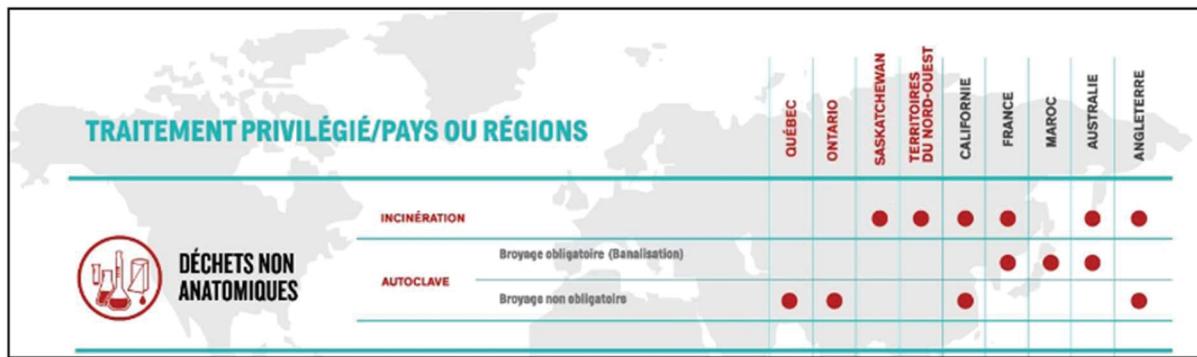


Figure 1.7 Réglementation en cours au Québec : analyse comparée de ce qui se passe ailleurs dans le monde
Tiré de Synergie Santé Environnement (2018)

1.2.2 Principes de gestion des déchets biomédicaux non anatomiques

La gestion des matières résiduelles, y compris celle des déchets biomédicaux, repose sur une prise en compte des enjeux globaux qui concernent autant les effets des rejets des différentes étapes de la chaîne de valeur que de la consommation des ressources et de leur potentiel épuisement (MDDEP, 2010). La vision globale amène ainsi à considérer le système dans son ensemble et identifier de possibles actions pour boucler des flux de matières (figure 1.8). Dans ce contexte, le but est de s'assurer que les gains en ressources (diminution des déchets) ne concourent pas à un transfert d'impact ou n'altèrent pas la qualité de service (Dawson, 2022).

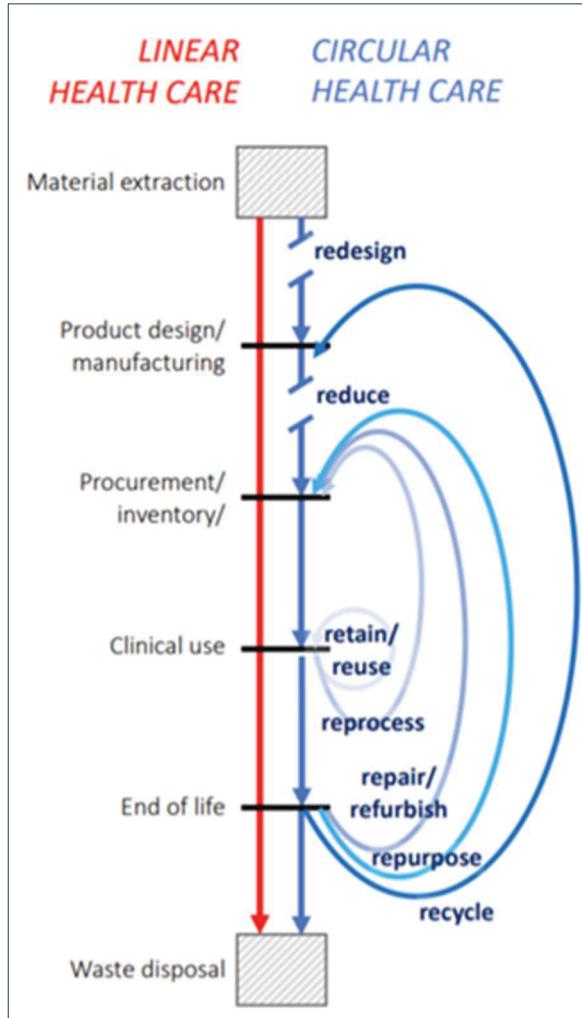


Figure 1.8 Structure d'une économie de soins de santé linéaire et circulaire

Tiré de Dawson (2022)

Les stratégies visant une gestion plus responsable des ressources peuvent être classifiées en quatre familles distinctes. La première famille se situe en amont de la chaîne de production et encourage de repenser les pratiques en utilisant des approches telles que l'écoconception, un approvisionnement responsable et l'optimisation des opérations. La deuxième famille vise à intensifier l'utilisation des biens produits en encourageant des mécanismes de partage des produits pour éviter d'en produire davantage. La troisième famille de stratégies cherche à

prolonger la durée d'utilisation des produits grâce à l'entretien et à la réparation. Enfin, la quatrième famille de stratégies se concentre sur la gestion en fin de vie des produits, en utilisant des pratiques telles que l'écologie industrielle, le recyclage et la valorisation (CIRAIQ, 2021).

Réduction à la source

La réduction des déchets à la source implique diverses mesures, telles que le fait de privilégier des produits générant moins de déchets, de choisir des fournisseurs qui récupèrent les contenants pour les réutiliser, de prévenir le gaspillage, et d'opter pour des équipements réutilisables (CICR, 2011). En 2020, le centre médical Providence St. Vincent aux États-Unis, un établissement de soins tertiaires de 523 lits, a repensé ses processus afin de réduire ses achats de matériels médicaux. Cette initiative a été mise en œuvre après avoir examiné les données d'utilisation clinique, intégré des évaluations d'impact environnemental et pris en compte les plans de préférence des chirurgiens. En somme, 39 506 produits et 9411 ensembles d'instruments ont été retirés de la chaîne d'approvisionnement, entraînant une réduction de 834 tm de CO₂e par an, ainsi qu'une diminution de la consommation d'eau de 3100 m³. Ces actions ont également généré des économies estimées à 1,77 M\$ (CHUM, 2023).

Réemploi

La réutilisation du matériel médical, qu'il soit à usage unique ou réutilisable, se réfère à l'utilisation d'un dispositif médical sur plusieurs patients ou sur le même patient, suivie du retraitement du dispositif entre chaque utilisation (Martin et al., 2009). La figure-A I-1 (ANNEXE I) qui illustre le processus de retraitement des matériels médicaux.

En juin 2022, avec le soutien du Comité de résilience du bloc opératoire, le Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM, 2023) a lancé un projet pilote impliquant la collecte, le retraitement et le reconditionnement de manchons de compression par l'intermédiaire d'une compagnie spécialisée. Le projet visait à remettre en circulation les manchons de compression après avoir passé plusieurs tests exhaustifs d'innocuité et de conformité. Sur le plan économique, l'étude sur le terrain a permis d'estimer une réduction des coûts d'achat de 40 %

à 60 %, diminuer des déchets et des émissions de gaz à effet de serre, totalisant une réduction de 10,95 t (données de l'année financière 2022). Les étapes liées au processus ont été approuvées par Santé Canada et la FDA (*Food and Drug Administration*).

Recyclage

Selon Gobert (2021), l'émergence des filières de recyclage pour les matériels médicaux réutilisables (comme les lames de laryngoscope et le verre médicamenteux) ainsi que pour les matériels médicaux à usage unique contribue considérablement à réduire la génération des déchets d'activités de soins et à réaliser des gains financiers en ce qui concerne l'approvisionnement en matières premières. Selon GreenHealthcare (2024) à l'hôpital de Grand River en Ontario, un programme a été conçu pour optimiser le réacheminement des déchets biomédicaux en permettant la collecte de dispositifs à usage unique tels que les manchons de compression, les scellants laparoscopiques, les scalpeurs à ultrasons, les trocarts, entre autres, dans l'ensemble de l'établissement. À cet effet, des bacs de recyclage ont été installés dans les locaux techniques souillés, la salle d'opération et l'unité de soins post-anesthésiques. Ce programme a démontré les avantages environnementaux, financiers et administratifs du recyclage des appareils à usage unique à l'instar de 591 kg de déchets détournés de l'enfouissement de 1 990 \$ de réduction de coûts de déchets ainsi que de 1 000 \$ des crédits d'entreprise accumulé.

Valorisation énergétique

La destruction thermique des déchets avec valorisation énergétique peut être réalisée de trois manières distinctes : l'incinération, la gazéification et la pyrolyse. Chacune de ces méthodes utilise la chaleur pour décomposer les déchets et récupérer l'énergie qu'ils contiennent sous différentes formes (Procedis, 2004). Le traitement des déchets biomédicaux non anatomiques au Québec peut se faire par désinfection ou incinération (Règlement sur les déchets biomédicaux, 2023). Cependant, en Finlande, le premier gazéificateur LFC, construit en 1997 dans le cadre du programme Thermie, est capable de fonctionner avec des mélanges variables de combustibles, comprenant des déchets, du CSR (mélange de plastiques, papiers, carton,

bois) et des biomasses. Une unité de cogénération de ce type, d'une puissance de 160 MWth, a été mise en service en mai 2012 à Lahti (Kymijärvi II), permettant la valorisation de 250 000 t/an de combustibles solides de récupération (CSR) (RECORD, 2017).

Élimination

L'élimination des résidus ultimes par enfouissement a existé de tout temps comme une méthode pour éliminer les déchets résiduels (CMM, 2007). Au Québec, le Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles (REIMR) stipule que le traitement des déchets biomédicaux et l'enfouissement des cendres provenant de l'incinération de ces déchets ne sont autorisés que dans des lieux d'enfouissement technique spécifiquement prévus à cet effet (MELCCFP, 2024).

1.2.3 Procédés de traitement déchets biomédicaux non anatomiques

La perception du risque en milieu hospitalier reflète la subjectivité et la probabilité d'occurrence d'accidents. L'objectif principal d'un gestionnaire des risques hospitaliers est de mettre en œuvre des procédures visant à déplacer les risques des zones inacceptables vers des zones plus acceptables dépendamment de leur gravité et de leur susceptibilité d'occurrence. Les conséquences et risques des déchets médicaux sur la santé du personnel de soins et du grand public sont exacerbés par la présence de micro-organismes potentiellement nocifs. L'éventuelle résistance de ces micro-organismes aux médications participe fortement à leur prolifération à l'extérieur. La revue scientifique n'est pas assez élaborée sur cette thématique (Pury, 2014).

Le risque biologique inhérent aux déchets biomédicaux est la raison principale pour laquelle ceux-ci ne sont pas faciles à valoriser. Les institutions sanitaires ont conscience de la nécessité de se doter d'alternatives de banalisation ou de valorisation, surtout que le volume et le niveau de nocuité dans le réseau de la santé vont en augmentant (MSSS, 2017).

Le tableau 1.9 présente les aspects liés à la sécurité environnementale et professionnelle des technologies de traitement (PNUE ,2017).

Tableau 1.9 Aspects de sécurité environnementale et professionnelle des technologies de traitement
Adapté de PNUE (2012)

Technologie	Impacts environnementaux			Impacts en matière de sécurité au travail	
	Air	Eau	Résidu solide		Notes
Autoclaves	X	XX	X	XX	Haute pression
Autoclaves hybrides	X	XX	X	XX	Haute pression
Systèmes de traitement à la vapeur en continu	X	X	X	X	
Technologies micro-ondes par lots	X	X	X	X	
Technologies micro-ondes continues	X	X	X	X	
Systèmes de traitement thermique par friction	X	X	X	X	
Systèmes de traitement thermique sec	X	X	X	X	
Incinérateurs	XXX	XX*	XXX	XXX	Émissions atmosphériques, cendres
Technologies d'hydrolyse alcaline	X	XXX	X	XX	Haute pression, alcalin
Systèmes de traitement chimique	XX	XX	X	XXX	Exposition aux produits chimiques

Légende : X- impact minimal ; XX- impact modéré ; XXX- impact sévère ; *si l'épuration des fumées de l'incinérateur génère des eaux usées qui doivent être traitées.

En ce qui a trait aux procédés de base pour le traitement des déchets biomédicaux non-anatomiques, les modes de stérilisation, désinfection et décontamination arrimés aux technologies de banalisation des DBM se distinguent en fonction de la nature des déchets biomédicaux ainsi que du niveau de risque de contamination et des exigences de sécurité. La stérilisation est généralement utilisée lorsque la complète éradication des micro-organismes est nécessaire pour des raisons de sécurité ou de prévention des infections. La désinfection est

employée lorsque des niveaux inférieurs de contamination sont acceptables, mais que la réduction du risque d'infection reste une priorité. Cependant, la décontamination est un processus plus général qui vise à rendre les matières et les surfaces sûres à manipuler en éliminant la plupart des micro-organismes, des toxines ou des prions (ASPC, 2023). En 2014, l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) a fait mention de quelques méthodes de désinfection et de stérilisation à récuser du fait que celles-ci pourraient être inappropriées pour certains types de matériel médical, notamment la stérilisation à l'eau bouillante; la stérilisation par irradiation aux rayons ultraviolets; la stérilisation par billes de verre et la stérilisation par four à micro-ondes.

Procédés thermiques

Les procédés thermiques font usage de l'énergie thermique (chaleur) pour éliminer les agents pathogènes présents dans les déchets. Cette catégorie peut être divisée en deux types de procédés : ceux à basse température et ceux à haute température, en fonction de la chaleur utilisée. Les technologies thermiques à basse température opèrent dans une plage de température comprise entre 100°C et 180°C. Le traitement thermique humide consiste à utiliser de la vapeur pour désinfecter les déchets. Les technologies qui utilisent cette méthode comprennent notamment l'autoclave, le système d'autoclave hybride, le système de traitement à la vapeur continue, le traitement par micro-onde, la technologie micro-onde par lots, la technologie micro-onde continue, la désactivation électro-thermique. Les processus thermiques à haute température débutent généralement à des températures d'environ 180 °C et plus. Ces températures provoquent des modifications chimiques et physiques des déchets par des méthodes telles que la combustion, la pyrolyse ou la gazéification (PNUE, 2012). En 2016, le Québec disposait d'environ 32 autoclaves. Le Centre hospitalier Pierre-Boucher, établi à Longueuil, était responsable de décontaminer et d'éliminer les déchets biomédicaux (DBM) pour 31 clients, englobant 2 CLSC, 6 CHSLD, 14 cliniques médicales, 5 cliniques dentaires, 2 laboratoires, 1 acupuncteur et 1 service d'ambulancier (SSE, 2019).

Procédés chimiques

Les procédés de traitement chimique font usage de désinfectants chimiques pour éliminer les agents pathogènes présents dans les déchets. L'efficacité de l'inactivation microbienne dépend de divers facteurs, notamment le type de désinfectant chimique utilisé, sa concentration, sa capacité à entrer en contact avec toutes les surfaces des déchets, ainsi que la durée du contact. Cependant, d'autres éléments tels que la température, le pH, la dureté de l'eau et la quantité de charges organiques présentes dans les déchets peuvent également influencer cette efficacité (PNUE, 2012). Les directives de la santé publique de l'Ontario (2013) soulignent l'importance de suivre les recommandations du fabricant en ce qui concerne les désinfectants chimiques. Cela englobe divers aspects tels que l'utilisation, la durée de contact, la durée de conservation, l'entreposage, la dilution appropriée, ainsi que l'utilisation des équipements de protection individuelle (EPI) requis.

Procédés irradiatifs

Dans les années 1990, le traitement des déchets médicaux par faisceau d'électrons (procédés irradiatifs) a été couronné de succès. L'efficacité de l'inactivation microbienne dépend de la quantité de rayonnement absorbée par la masse de déchets. L'irradiation UV-C (ultraviolet germicide) a également été employée, bien que principalement en tant que technologie complémentaire pour le traitement des déchets médicaux (PNUE, 2012).

1.3 Méthodes d'analyse multicritère d'aide à la décision

L'aide multicritère à la décision englobe un ensemble de concepts, d'approches, de modèles et de méthodes visant à assister un gestionnaire (décideur) dans la description, l'évaluation, la classification, le choix ou le rejet (la priorisation) d'un ensemble d'actions, telles que des candidats, des produits ou des projets. Ce processus repose sur l'évaluation de ces actions potentielles en fonction d'un ensemble de critères, comprenant des notations, des pointages ou des indicateurs de mesure à la fois quantitatifs et qualitatifs, ainsi que des valeurs et des degrés d'intensité de préférence (Taibi, 2015).

1.3.1 Analyse multicritère comme outil d'aide à la prise de décision

Les méthodes d'analyse multicritère (AMCD) sont des instruments d'aide à la décision qui ont été développés depuis les années 1960. Le but principal de ces méthodes est de faciliter la prise de décision, ou d'évaluer plusieurs solutions, même s'il n'est pas nécessaire de faire un choix final, dans des situations où aucune option n'est idéale, et où différents critères entrent en conflit (Caillet,2003). La méthode AMCD est catégorisée en deux groupes, à savoir, « les méthodes d'analyse multicritères et les méthodes d'optimisation multicritères ». Le choix de l'approche AMCD dépend des données disponibles, de la complexité du problème et des préférences du décideur. En matière de modèles multicritères d'aide à la décision, les méthodes d'analyse multicritères se distinguent des méthodes d'optimisation multicritères. Dans le contexte de l'analyse multicritères, le nombre d'alternatives (solutions) est restreint et leurs positions sur les échelles d'évaluation sont connues. En revanche, pour les problèmes d'optimisation multicritères, l'ensemble des alternatives est défini par des contraintes, ce qui implique que le nombre d'alternatives peut être potentiellement infini (Buronfosse, 2018).

La méthode multicritère présente des avantages, notamment la capacité à prendre en compte les différences entre les alternatives, éliminer les effets d'échelle, gérer l'incomparabilité, être simple d'utilisation, donner du sens à l'information supplémentaire, traiter les aspects conflictuels des critères, et à permettre une interprétation claire des poids attribués aux critères (AFNOR, 2002)

En 1977, Bernard Roy a identifié quatre catégories de problématiques de prise de décision multicritère, comme illustré par le tableau 1.10. La problématique du choix se pose pour définir le problème en termes de sélection de la meilleure option, tandis que la question du tri implique le développement d'une méthode pour classer les actions en catégories. Quant à la question du rangement, elle a pour objectif d'assister dans l'organisation des actions selon un ordre de préférence décroissante (Taibi ,2015).

Tableau 1.10 Les différentes problématiques en analyse multicritère
Tiré de Buronfosse (2018)

	PROBLÉMATIQUE DE			
	RANGEMENT DES SOLUTIONS	TRI	CHOIX	DESCRIPTION
Description	Identifier la ou les meilleures solutions. La procédure recherchée est une procédure de classement	Trier et/ou de catégoriser les solutions. Il s'agit de la procédure d'affectation à des catégories.	Identifier la ou les meilleures solutions. Elle aboutit à la mise au point d'une procédure de sélection.	Éclairer l'analyse des solutions en aidant le décideur à mieux appréhender celles-ci. En d'autres termes, ces méthodes consistent simplement à décrire les actions et leurs conséquences et non pas à les comparer.
Représentation graphique				
Exemple de méthodes	PROMETHEE I & II	ELECTRE Tri-B	AHP	Plusieurs méthodes peuvent être utilisées
	MAVT		MAUT	
	ELECTRE II		TOPSIS	
	ELECTRE III et IV	ELECTRE Tri-C	ELECTRE I	
	MACBETH		UTA	
	AHP		ELECTRE Is	
	Electre IV		EVAMIX	
	SMART		MAVT	
	TOPSIS		SMART	

L'analyse de sensibilité joue un rôle dans le processus d'aide à la décision multicritère. Cette analyse consiste à étudier la réaction et la variation des résultats en fonction des changements apportés aux valeurs des paramètres ou des préférences fixées par le décideur. En d'autres termes, l'analyse de sensibilité consiste à évaluer comment les variations des valeurs des paramètres utilisés peuvent influencer le résultat final. En effectuant ces variations sur les paramètres de manière contrôlée, cela permet d'évaluer la stabilité des choix effectués et déterminer si les valeurs des préférences sont cohérentes et robustes (Mouine, 2011).

Les paramètres clés dans le contexte d'analyse multicritère à incrémenter dans le cadre d'une analyse de sensibilité font référence aux pondérations de critères, au tableau de performance; au type et aux paramètres des fonctions de préférences. Cela permet de comprendre la stabilité des décisions prises et d'identifier les zones de sensibilité où les changements significatifs dans les paramètres peuvent entraîner des variations importantes dans les classements.

1.3.2 Familles de méthodes multicritères

Diverses méthodes d'analyse multicritères ont été adaptées à la gestion des déchets, permettant ainsi d'inclure des critères provenant de différentes dimensions (Buronfosse, 2018). Mountadara et al. (2013) relève l'absence de techniques intrinsèquement meilleures ou moins bonnes. Cependant, certaines méthodes sont mieux adaptées à des problèmes de-décision spécifiques que d'autres. Les méthodes d'analyse multicritères et les méthodes d'optimisation multicritères sont explicitées à la figure 1.9 (Buronfosse, 2018).

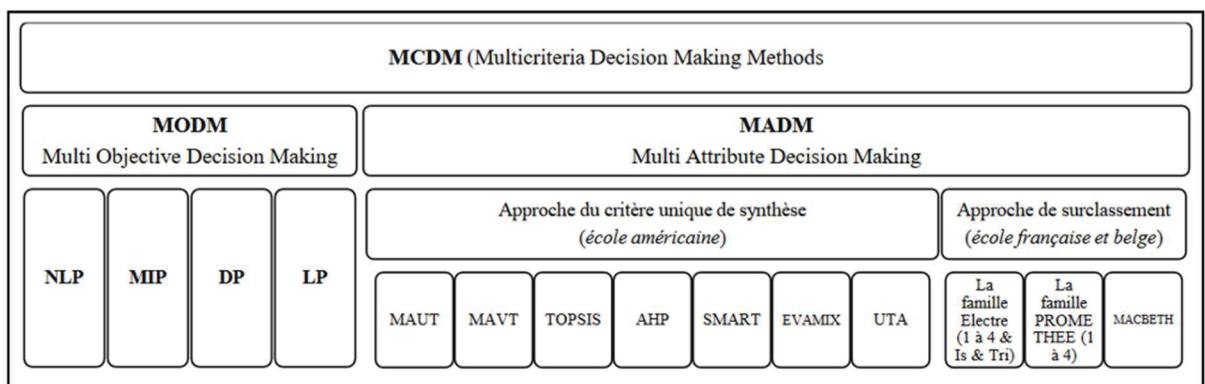


Figure 1.9 Les différents modèles multicritères (non exhaustif)
Tiré de Buronfosse (2018)

La littérature consacrée à la gestion des déchets est vaste. Vitorino de Souza Melaré et al. (2017) ont répertorié près de 7600 articles relatifs aux « outils » et à « l'aide à la décision » dans le domaine des déchets. Face à la complexité de la gestion des déchets, qui implique

différentes dimensions, parfois contradictoires, les scientifiques ont également eu recours aux méthodes multicritères d'aide à la décision. Les méthodes d'analyse multicritères d'aide à la décision peuvent être appliquées à plusieurs dimensions. Ces méthodes incluent l'Analytic Hierarchy Process (AHP), PROMETHEE et ELECTRE (Buronfosse, 2018).

L'Analytic Hierarchy Process (AHP) offre une approche visant à structurer un problème de prise de décision au sein d'une hiérarchie. Cette organisation hiérarchique facilite la classification des critères en fonction de leurs caractéristiques particulières, telles que les aspects environnementaux et économiques, tout en mettant en lumière ceux qui exercent une influence significative sur la décision finale, à savoir les critères ayant un poids substantiel.

Les méthodes ELECTRE regroupent des techniques de classement, parmi lesquelles ELECTRE I et Electre 1S sont conçues pour résoudre des problèmes de choix. D'un autre côté, les méthodes ELECTRE II, ELECTRE III et ELECTRE IV sont principalement utilisées pour aborder des questions de classement. Enfin, les méthodes ELECTRE TRI-B et ELECTRE TRIC sont spécifiquement adaptées à la résolution de problèmes de classification.

La méthode PROMETHEE vise à classer les actions dans un préordre partiel, ce qui peut parfois conduire à une situation d'incomparabilité. La mise en œuvre de cette méthode peut être réduite à trois étapes principales soit : le choix de critères généralisés, la détermination d'une relation de surclassement et l'évaluation des préférences (Buronfosse, 2018).

1.3.3 Étapes et critères d'une analyse multicritère

Les étapes d'une démarche d'analyse multicritère s'articulent en trois grandes phases (Taibi, 2015). Elles sont expliquées dans les paragraphes qui suivent.

Phase 1 : Définition et structuration du problème

La définition et structuration du problème permet l'identification du décideur ultime et éventuellement des acteurs ainsi que l'identification des actions potentielles et des enjeux (critères).

Phase 2 : Évaluation des actions et modélisation des préférences du décideur et des acteurs

L'analyse permet d'évaluer toutes les actions retenues selon tous les critères (indicateurs de mesure), alors que les préférences du décideur et/ou des acteurs sont modélisées, cela permettra alors de différencier les actions potentielles. Les résultats de ces évaluations sur chaque critère fournissent une vue d'ensemble des actions.

Phase 3 : Procédure d'agrégation et discussions sur les résultats d'analyse

Cette étape d'investigation mathématique, c'est-à-dire une procédure d'agrégation, est définie afin de fournir des éléments de réponse au problème de décision. En se basant sur la revue de la littérature concernant les outils utilisés dans la gestion des déchets, Buronfosse (2018) a identifié plusieurs critères regroupés en cinq dimensions tel qu'illustré au tableau 1.11.

Tableau 1.11 Cinq familles de critères
Tiré de Buronfosse (2018)

Famille 1 (Réglementaire)	Famille 2 (Économie)	Famille 3 (Technique)	Famille 4 (Environnement)	Famille 5 (Territoire)
R ₁ –Respect de la hiérarchie de la gestion des déchets	Ec ₁ – Coût d'utilisation de l'installation	T ₁ –Pérennité de l'installation	Env ₁ -Impacts environnementaux réglementés	Ter ₁ -Favorise l'économie locale (entrée dans l'installation)
R ₂ -Niveau de responsabilité	Ec ₂ –Intensité concurrentielle	T ₂ – Adéquation du déchet en entrée d'installation (encadrement)	Env ₂ - Impact sur le changement climatique	Ter ₂ - Utilisation locale de la ressource (en sortie d'installation)

Tableau 1.11 Cinq familles de critères (suite)
Tiré de Buronfosse (2018)

Famille 1 (Réglementaire)	Famille 2 (Économie)	Famille 3 (Technique)	Famille 4 (Environnement)	Famille 5 (Territoire)
R ₃ – Respect du principe de proximité	Ec ₃ – Intensité de la demande	T ₃ - Adéquation du produit dans la filière (encadrement)	Env ₃ - Économie de ressources vierges	Ter ₃ - Capacité à transporter le déchet sur le territoire
R ₄ – Positionnement vis-à-vis des objectifs de valorisation		T ₄ – Multiplicité d'utilisation du produit	Env ₄ - Consommation en eau	Ter ₄ - Emploi
		T ₅ – Capacité d'absorption annuelle de l'installation	Env ₅ - Consommation en énergie	Ter ₅ - Incitations locales (politique économique réglementaire)
		T ₆ – Flexibilité d'absorption de l'installation		

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

Ce deuxième chapitre, structuré en trois parties, présente la démarche méthodologique déployée dans le cadre de ce travail. La première partie présente le contexte de l'étude. La deuxième porte sur le bilan des flux des déchets biomédicaux non anatomiques. Finalement la troisième présente les scénarios retenus pour une gestion des DBMNA, ainsi que le processus d'aide multicritère à la décision.

2.1 Contexte de l'étude

L'étude porte sur le territoire de l'agglomération de Montréal et s'appuie sur des données qui s'étendent sur la période 2010 à 2021. Ainsi, le territoire concerne 19 arrondissements de la Ville de Montréal ainsi que 15 villes liées (municipalités) de l'agglomération de Montréal. En ce qui concerne les générateurs de déchets biomédicaux non anatomiques (DBMNA), ils sont organisés selon les catégories suivantes :

- cinq établissements juridiques du réseau de la santé publique (CIUSSS);
- les installations physiques de chaque établissement classé par Mission-Classe-Type, soit 31 Centres hospitaliers (CH) et 76 Centres hospitaliers de soins de longue durée (CHSLD);
- six unités de soins pour chaque établissement.

La carte de la figure 2.1 présente les arrondissements de la Ville de Montréal et des municipalités affiliées à chaque CIUSSS du réseau de la santé de l'île de Montréal.

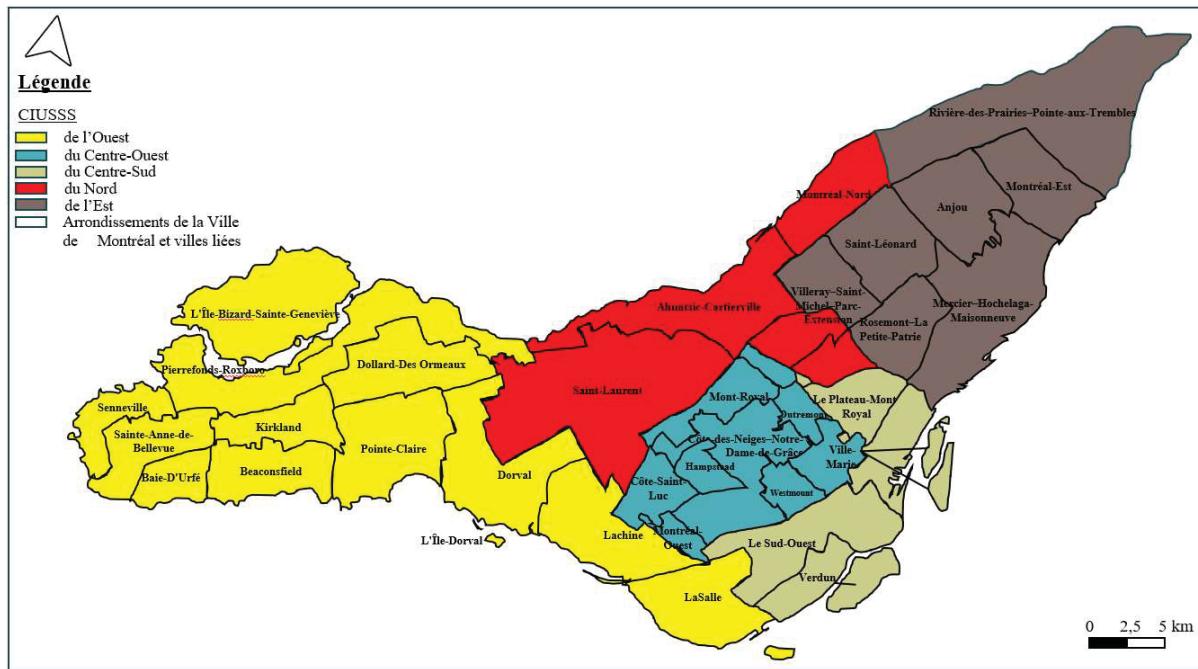


Figure 2.1 Territoire à l'étude
Adapté de Direction des services régionaux de Montréal (2015)

Le découpage du territoire associé à chacun des cinq CIUSSS peut être caractérisé sur la base du nombre d'arrondissements, la superficie et la population desservie. Le Tableau 2.1 présente les valeurs associées à chacun des CIUSSS.

Tableau 2.1 Portrait des établissements du réseau socio-sanitaire de Montréal

CIUSSS	Nombre d'arrondissements et villes liées	Superficie desservies (km ²)	Population desservie (2021)
Est-de-l'Île-de-Montréal	5	107	375 700
Ouest-de-l'Île-de-Montréal	13	185	367 585
Centre-Ouest-de-l'Île-de-Montréal	7	46,8	286 097
Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal	4	50	365 687
Nord-de-l'Île-de-Montréal	5	126	612 814
Total	34	499	2 007 883

Chaque établissement regroupe des installations physiques qui pratiquent des activités de soins classées en mission-classe-type. La structuration des unités génératrices de DBMNA s'appuie la catégorisation des installations (CH ou CHSLD) et la nature des unités de soins qui y sont associés (Tableau 2.2).

Tableau 2.2 Unités de soins génératrices de déchets biomédicaux non anatomiques

Centre hospitalier (CH)			Centre d'hébergement et de soins de longue durée (CHSLD)		
<i>Comprend :</i> <ul style="list-style-type: none"> • Centre hospitalier de soins généraux et spécialisés • Centre hospitalier de soins psychiatriques 			<i>Comprend :</i> <ul style="list-style-type: none"> • CHSLD privé conventionné • CHSLD public 		
Soins psychiatriques	Soins de santé physique et de gériatrie	Soins infirmiers et d'assistance en unité de réadaptation fonctionnelle intensive	Soins infirmiers aux personnes en perte d'autonomie	Soins infirmiers et d'assistance en unité de réadaptation fonctionnelle intensive	Unité d'hébergement et de soins de longue durée aux adultes avec diagnostic psychiatrique

2.2 Quantification des flux de déchets biomédicaux non anatomiques

L'étude portant sur les DBMNA générés par les différents établissements de santé de l'agglomération de Montréal, la cartographie des gisements s'appuiera sur des caractéristiques des institutions sanitaires (CH; CHSLD) ainsi que celles des territoires auxquels ils appartiennent. Les jeux de données utilisés pour cette cartographie des gisements de DBMNA sont répertoriés au Tableau 2.3.

Tableau 2.3 Jeux de données de l'étude de cas appliquées à la cartographie des gisements

Jeux de données	Unité	Référence
Capacité de lits autorisés au permis (CHSLD, CH)	Lits _{per.}	(Ministère de la Santé et des Services sociaux, 2013)
Moyenne du nombre de lits dressés de 2018 à 2021 (Unités de soins-CH; Unités de soins-CHSLD)	Lits _{occ.}	(MED-ÉCHO, 2023)
Découpage administratif (arrondissements et Villes liées)	-	(MERN, 2021)
Superficie (RTS/CIUSSS)	km ²	(Statistique Canada, 2021)
Nombre d'habitants (2021)	hab	(Statistique Canada, 2021)

En ce qui concerne les flux de matières, un certain nombre de postulats ont été posés :

- 100 % du volume de déchets biomédicaux estimé à partir des valeurs issues de la revue de la documentation est considéré comme étant des DBM non anatomiques;
- les pertes liées aux technologies de traitement spécifiques au plastique, au verre et au métal n'ont pas été prises en compte dans l'analyse du bilan des flux, en supposant une déviation totale de 100 % des matières et une perfection dans le tri à la source;
- dans le cas du scénario désinfection-recyclage des DBMNA, le calcul des flux de matières implique un recyclage en vrac qui ne prend pas en compte le type de résines plastiques;
- le nombre de boucle de réemploi du matériel médical (plastique, verre et métal) n'est pas limité;
- à la suite du processus de reconditionnement, 80 % de la masse de DBMNA reste fonctionnel, sans distinction de la nature des matériaux, qu'il s'agisse de plastique, de verre ou de métal.

La quantification des flux de DBMNA débute par l'estimation de la quantité annuelle générée dans le réseau de la santé de l'île de Montréal à différentes échelles organisationnelles en termes de rôles et responsabilités (CIUSSS, CHSLD, CH et unités de soins). Ainsi, la quantité annuelle de DBMNA est fonction du nombre de lits des gisements, multiplié par le ratio de

DBMNA. Tout d'abord, la quantité annuelle de DBMNA générée est calculée en se basant sur la capacité totale de places autorisées au permis de chaque installation du réseau de la santé, selon l'équation 2.1. Ensuite, l'équation 2.2 quantifie la masse de DBMNA générée, en prenant en compte la moyenne sur trois ans du nombre de lits dressés dans les unités de soins des installations du réseau de la santé.

$$Q_{DBM.\text{prévu}} = N_{lit.per.} \times R_{lit} \quad (2.1)$$

$$Q_{DBM.\text{ajusté}} = N_{lit.occ.} \times R_{lit} \quad (2.2)$$

Avec:

- $Q_{DBM.\text{prévu}}$: quantité annuelle de DBMNA générée dans les CH et CHSLD (t/an);
- $Q_{DBM.\text{ajusté}}$: quantité annuelle de DBMNA générée par unités de soins (t/an);
- $N_{lit.per.}$: capacité de places autorisées au permis dans les CH et CHSLD (lits_{per.});
- $N_{lit.occ.}$: moyenne du nombre de lits dressés sur la période de 2018 à 2021 par unité de soins (lits_{occ.});
- R_{lit} : quantité annuelle de déchets biomédicaux non anatomiques par lit (t/lit/an).

Le tableau 2.4, issu de l'étude de Synergie Santé Environnement (s.d.), présente le coefficient relatif des plastiques dans les déchets générés par les activités de soins du réseau de la santé de l'agglomération de Montréal, ainsi que l'hypothèse formulée pour le verre et le métal.

Tableau 2.4 Fraction de la catégorie de matériaux des déchets d'activités de soins

Fraction de la catégorie de matériaux de déchets biomédicaux non anatomiques-Fi (%)			Source
Plastique	Verre	Métal	
90	5	5	Synergie Santé Environnement (s.d.)

Les quantités annuelles de plastique, verre ou métal (PVM) par unité de soins est fonction de la fraction de chaque catégorie de matières de déchets biomédicaux telle qu'illustrée par l'équation 2.3.

$$Q_{DBM.\text{ajustée}.i} = Q_{DBM.\text{ajustée}.tot} \times F_i \quad (2.3)$$

Avec :

- $Q_{DBM.\text{ajustée}.i}$: quantité annuelle de DBMNA de la matière i générée dans les unités de soins (t/an);
- $Q_{DBM.\text{ajustée}.tot}$: quantité annuelle de DBMNA total des unités de soins (t/an);
- F_i : fraction de la catégorie matériaux de DBMNA (%);
- i : catégorie de matériaux DBMNA, soit : plastique, verre, métal.

2.3 Scénarios de gestion de déchets biomédicaux non anatomiques

La présente section aborde l'élaboration des scénarios de récupération des DBMNA en fin de vie utile. Dans cette étude, les filières de récupération des dispositifs biomédicaux non anatomiques sont élaborées pour favoriser à la fois le prolongement de leur durée de vie et la valorisation de ces matières résiduelles en leur offrant une nouvelle utilité.

Dans la définition des scénarios, la démarche vise à privilégier des unités de traitement décentralisées à l'échelle des installations sanitaires ou à opter pour des installations sanitaires situées à proximité, l'objectif étant de maintenir une approche aussi décentralisée que possible. En revanche, les installations de valorisation et de recyclage sont centralisées. Une étape préalable de décontamination est systématiquement requise avant le transport vers ces filières de valorisation, garantissant ainsi la sécurité et la conformité réglementaire (Q-2, r. 12 - Règlement sur les déchets biomédicaux).

Par ailleurs, dans le cadre de la définition de ces scénarios, le système de classification de Spaulding est utilisé pour déterminer la méthode de traitement des matériels médicaux après

leur utilisation, en tenant compte du risque d'infection lié à leur usage, comme indiqué au Tableau 2.5.

Tableau 2.5 Classification du matériel médical selon Spaulding
Adapté de INSPQ (2014)

Catégorie de matériel médical selon Spaulding	Type de contact	Risque d'infection	Niveau de traitement exigé	Filières
Non critique	Peau intacte	Faible	Désinfection de niveau faible (décontamination)	Enfouissement
			Désinfection de niveau intermédiaire	Valorisation énergétique
Semi-critique	Peau non intacte	Moyen	Désinfection de haut niveau	Recyclage
Critique	Tissus stériles	Élevé	Stérilisation	Reconditionnement

La classification du matériel médical, devenu déchet biomédical non anatomique selon son niveau de risque pour la santé publique, influence le choix des alternatives à l'enfouissement. Le tableau 2.6 présente ces alternatives et décrit les activités qui leur sont associées.

Tableau 2.6 Scénarios de gestion des déchets biomédicaux non anatomiques

Scénarios de gestion des DBMNA	Description
Décontamination chimique-enfouissement	Les déchets biomédicaux non anatomiques sont triés, puis soumis à un processus de décontamination chimique à base du chlore comme technique de banalisation pour aboutir à l'enfouissement.
Stérilisation thermique reconditionnement	Les déchets biomédicaux non anatomiques sont triés, puis soumis à un processus de stérilisation thermique utilisant le procédé sec par micro-onde comme technique de banalisation pour aboutir à la redistribution.
Désinfection thermique Recyclage	Les déchets biomédicaux non anatomiques sont triés, puis soumis à un processus de désinfection thermique utilisant le procédé par vapeur chaude (autoclave hybride) comme technique de banalisation pour aboutir au recyclage des matériaux qui circulent dans un système.
Désinfection thermique-valorisation énergétique par gazéification	Les déchets biomédicaux non anatomiques sont triés, puis soumis à un processus de désinfection thermique à haute température pour réduire le risque de contamination biologique lors de leur manipulation suivie de la gazéification (production d'énergie/électricité).

L’élaboration de ces scénarios reposent sur les postulats suivants : (i) les procédés de valorisation énergétique, à savoir l’incinération et la gazéification, sont équivalents en termes d’énergie produite et d’émissions de GES émis par tonnage de déchets traités (RECORD, 2017); (ii) la répartition spatiale des processus de la filière de traitement n’est pas considérée et en conséquence, les étapes de transport ne sont pas incluses dans l’évaluation.

Le tableau 2.7 présente les caractéristiques de ces quatre scénarios. Les caractéristiques portent notamment sur la nature du flux sortant, la technologie utilisée pour le traitement, ainsi que la substitution en fin de cycle de chacun des scénarios.

Tableau 2.7 Représentation conceptuelle des scénarios de récupération des déchets biomédicaux non anatomiques

	Scénario				
	1	2	3	4	
Filières	Enfouissement	Reconditionnement	Recyclage	Valorisation énergétique	
Traitement (UNEP,2012)	Décontamination chimique	Stérilisation thermique	Désinfection thermique	Désinfection thermique	
Technologie (UNEP,2012)	Traitemen chimique à base de chlore	Procédé sec par micro-onde	Procédé par vapeur chaude (autoclave hybride)	Processus à haute température (gazéification)	
Nature du flux	Déchets biomédicaux non anatomiques (plastique, verre métal)	Déchets biomédicaux non anatomiques (plastique)			
Sous-produits	Aucun	Matériel médical réutilisable dans le réseau de la santé	Matière première pour l'industrie	Énergie électrique pour le réseau de la santé	

Pour ce qui est du processus de réemploi (reconditionnement), le flux de DBMNA est déterminé sur la base de l'hypothèse posée quant à la fraction de la catégorie des matériaux de DBMNA reconditionnés, comme exprimé dans l'équation 2.4.

$$Q_{DBM.réemploi} = Q_{DBM.ajusté} \times G_i \quad (2.4)$$

Avec :

- $Q_{DBM.réemploi}$: quantité annuelle de DBMNA reconditionné (t/an);
- $Q_{DBM.ajusté}$: quantité annuelle de DBMNA générée dans les unités de soins (t/an);
- G_i : fraction de la catégorie de matériaux de DBMNA reconditionné (%);

- i : catégorie de matériaux DBMNA, soit : le plastique, le verre, le métal.

Dans le cadre de l'étude, la valeur de G_i a été fixée à 80 % sans distinction de la nature de matériaux (hypothèse).

Concernant le processus de recyclage des DBMNA, le calcul des flux s'appuie sur l'équation 2.5 en considérant les paramètres J_i présentés au Tableau 2.8.

$$Q_{DBM.tot.r} = \sum (Q_{DBM.ajusté.i} \times J_i) \quad (2.5)$$

Avec :

- $Q_{DBM.tot.r}$: quantité de DBMNA totale après recyclage de la matière i (t/an);
- $Q_{DBM.ajusté.i}$: quantité annuelle de DBMNA total de la matière i générée dans les unités de soins (t/an);
- J_i : fraction recyclée de la matière i de DBMNA (%);
- i : catégorie de matériaux DBMNA, soit : le plastique, le verre, le métal.

Tableau 2.8 Sources et valeurs du ratio de recyclage

Source	Matières	Taux de recyclage, J_i (%)
RECYC-QUEBEC (2015)	Plastique	49
RECYC-QUEBEC (2015)	Verre	14
RECYC-QUEBEC (2015)	Métal	18

Le processus de valorisation énergétique par gazéification est déterminé par l'équation 2.6, avec la proportion de plastique générée en milieu hospitalier fixée à 90 % (SSE, s.d.).

$$W = Q_{DBM.ajusté.plastique} \times p_{élec} \quad (2.6)$$

Avec :

- W : quantité d'énergie électrique produit par valorisation des DBMNA plastique (kWh/an);

- $Q_{DBM.ajusté.plastique}$: quantité des DBMNA en plastique générée dans les unités de soins (t/an);
- $p_{élec}$: facteur de production d'électricité par gazéification du plastique (kWh/t).

Dans le cadre de l'étude, la valeur de $p_{élec}$ a été fixée à 100 kWh/t (Ma municipalité efficace, 2023).

2.4 Processus d'aide à la prise de décision

Pour accompagner le processus d'aide à la prise de décision, cette section présente, dans un premier temps, la grille des critères qui ont été retenus et des méthodes de quantification ou d'appréciation de chacun des critères. Par la suite, la section présente la méthode d'analyse multicritère pour tenir compte de la variété d'acteurs potentiellement impliqués dans le processus de décision.

2.4.1 Grille de critères d'évaluation des scénarios

La construction des critères est sous-tendue par les objectifs de la démarche décisionnelle, notamment la réduction de l'impact environnemental, la diminution des coûts associés au traitement et à la valorisation des déchets biomédicaux non anatomiques (DBM), l'optimisation du confort social (l'acceptabilité sociale), ainsi que la maîtrise du risque de contamination. Le choix des critères quantitatif et qualitatif est basé sur une revue de la documentation, prenant en compte à la fois les recommandations de la norme ISO 14031 : 2013 et d'autres référentiels techniques (IFC consulting, 2005). Le tableau 2.9 présente la liste des critères, leur description ainsi que l'unité ou l'échelle avec laquelle ils sont quantifiés ou appréciés. Cette liste de critère repose sur une analyse des critères tirés de la littérature dont les détails sont donnés en annexe (ANNEXE II, Tableau-A I-1).

Tableau 2.9 Grille des critères et leur description

Contexte	Critères	Description des critères	Unités
Environnement (minimiser l'impact environnemental)	GES émis	Minimise l'impact environnemental des différentes options de valorisation des DBM non anatomiques émis en termes d'émissions de gaz à effet de serre.	t CO ₂ e
	Perte de matière première	Minimise la déperdition des matériaux de base après les processus de traitement et valorisation des scénarios.	%
	Réutilisation de la ressource primaire	Favorise l'efficacité avec laquelle les matières premières sont réintégrées dans le cycle de production après avoir été utilisées une première fois.	%
	Énergie consommée	Minimise la consommation d'énergie associée aux différentes options de valorisation des DBM en fonction de la quantité de DBM non anatomique générée pour chaque type de matière.	Gj
Financier (minimiser les coûts)	Coûts d'investissement	Minimisent les dépenses initiales engagées pour l'acquisition d'actifs matériels ou immatériels nécessaires au processus de valorisation.	Très mauvais Mauvais Bon Très bon
	Coûts de revient	Favorise la rentabilité financière d'un procédé de valorisation.	\$
	Coûts d'opération de traitement	Minimisent les coûts nécessaires à l'exploitation et à l'entretien de la technologie de traitement.	Faibles Modérés Élevés
	Conformité réglementaire et législative (Québec)	Incite à considérer que les alternatives à l'enfouissement et à l'incinération des DBMNA gagneraient en importance si leur implantation était approuvée par la loi.	Oui/Non
Social (minimiser l'inconfort social)	Acceptabilité sociale des technologies de traitement	Favorise la mesure selon laquelle une communauté ou une population, une société dans son ensemble est disposée à accepter à soutenir l'utilisation d'une technologie de traitement.	Très mauvais Mauvais Bon Très bon
	Probabilité d'exposition à un agent infectieux après le processus de valorisation	Minimise la persistance du risque de transmission de l'agent infectieux associé aux DBM non anatomiques après les processus de traitement et valorisation.	Presque certain Hautement probable Improbable Très improbable
	Effets des DBMNA sur la santé humaine	Minimise la gravité des impacts découlant du processus de valorisation des DBM non anatomique sur la santé publique.	Minimale Mineure Modéré Majeure Sévère
	Efficacité de l'inactivation microbienne	Favorise l'adéquation du processus de traitement des DBMNA avec un processus de valorisation.	Très mauvais Mauvais Bon Très bon
Santé publique (minimiser les risques de contamination biologique)			

Après la définition de la grille de critères, la section suivante présente, pour chaque catégorie de critères, les méthodes employées pour caractériser les critères quantitatifs. Elle expose également les grilles d'évaluation établies pour définir les critères qualitatifs.

Critères environnementaux

Les coefficients d'émission nets de gaz à effets de serre du tableaux 2.10 ont servi à établir la relation 2.7 pour chiffrer l'empreinte carbone attribuable à chacune des alternatives de gestion de DBMNA, et ce, pour chacune des matières (plastique, verre, métal).

$$EC_{\text{é}.i} = CÉ_{a.i} \times Q_{DBM.\text{ajusté}.i} \quad (2.7)$$

Avec :

- $EC_{\text{é}.i}$: émissions annuelles de GES générée par le traitement de la matière i sur la base de la filière a (t CO₂e/an);
- $CÉ_{a.i}$: coefficient d'émission de la catégorie d'alternatives de gestion de DBMNA (t CO₂e/tonne);
- $Q_{DBM.\text{ajusté}.i}$: quantité annuelle de DBMNA de la matière i générée dans les unités de soins (t/an);
- a : correspond à la catégorie d'alternatives de gestion de DBMNA, soit l'enfouissement, le recyclage, le réemploi et la valorisation énergétique par gazéification;
- i : correspond à la catégorie de matière, soit le plastique, le verre, et le métal.

Les coefficients d'émission de gaz à effet de serre (CO₂) des filières de gestion des déchets (a), sont basés sur les données fournies dans le rapport d'IFC Consulting (2005) tel qu'illustre au tableau 2.10.

Tableau 2.10 Coefficients d'émissions de GES des stratégies de gestion des matières résiduelles (t CO₂e/tonne)
Adapté de IFC Consulting (2005)

Matériaux	Facteur CÉa des sites d'enfouissement	Facteur CÉa du recyclage	Facteur CÉa de la gazéification
Plastiques	0,01	(1,8)	2,67
Verre	0,01	(0,1)	0,01
Aluminium	0,01	(6,49)	0,01

Les valeurs entre parenthèses (tableau 2.10) indiquent les économies d'émissions de GES, obtenues grâce à la réduction des émissions liées à l'énergie des procédés et du transport, ainsi que des émissions non énergétiques associées aux procédés (ICF Consulting, 2005).

Le taux de perte de la matière première est proposé par l'équation 2.8.

$$T_p = \frac{Q_{DBM.ajusté} - Q_{DBM.tv}}{Q_{DBM.ajusté}} \times 100 \quad (2.8)$$

Avec :

- T_p : taux de perte de la matière première (%);
- $Q_{DBM.ajusté}$: quantité annuelle de DBMNA générée dans les unités de soins (t/an);
- $Q_{DBM.tv}$: quantité de sous-produits obtenus après chaque alternative de valorisation (t/an).

Le taux de réutilisation de la matière première est déterminé par l'équation 2.9.

$$T_R = \frac{Q_{DBM.tv}}{Q_{DBM.ajusté}} \times 100 \quad (2.9)$$

Avec :

- T_R : taux de réutilisation de la matière première (%);
- $Q_{DBM.tv}$: quantité de sous-produits obtenus après chaque alternative de valorisation (t/an);
- $Q_{DBM.ajusté}$: quantité annuelle de DBMNA générée dans les unités de soins (t/an).

La relation 2.10 estime l'énergie consommée attribuable à chacune des alternatives de gestion des DBM non anatomiques, en se basant sur les facteurs d'énergie (Gj/t) présentés dans le tableau 2.11.

$$\bar{E}N_c = F\bar{E}_g \times Q_{DBM.ajusté} \quad (2.10)$$

Avec :

- $\bar{E}N_c$: énergie consommée (Gj);
- $F\bar{E}_g$: quantité d'énergie générée par unité de volume de DBMNA valorisée par gazéification (Gj/t);
- $Q_{DBM.ajusté}$: quantité annuelle de DBMNA générée dans les unités de soins (t/an).

Les facteurs d'énergie (GJ/t) utilisés pour estimer la consommation d'énergie associée aux différentes alternatives de gestion des matières résiduelles sont présentés dans le tableau 2.11.

Tableau 2.11 Effets sur l'énergie des options de gestion des matières résiduelles
(t eCO₂/tonne)
Adapté de ICF Consulting (2005)

Matériaux	Facteur FÉ.g des sites d'enfouissement	Facteur FÉ.g du recyclage	Facteur FÉ.g de la gazéification
Plastiques	0,15	(52,1)	(4,76)
Verre	0,15	(1,54)	0,19
Aluminium	0,15	(87,2)	0,22

Critères financiers

Le coût de revient des flux est calculé en multipliant un flux de DBMNA par un coût unitaire. Le tableau 2.12 présente les paramètres des coûts unitaires pour les différents flux. À cet égard, l'indice de prix des matières du mois de mars (RECYC-QUÉBEC, 2022) est utilisé pour les scénarios de recyclage et de réemploi (ANNEXE II, Tableau-A II-2). La redevance exigible pour l'élimination des matières résiduelles est de 30 \$/t (RECYC-QUÉBEC, 2023). Elle est utilisée pour estimer le coût de revient associé à l'enfouissement des DBM non anatomiques. En revanche, l'évaluation du scénario de gazéification est fonction des données sur la quantité

brute d'électricité générée, qui est de 100 kWh/t (Ma municipalité efficace, 2023) ainsi que du tarif d'électricité à grande puissance fixé à 3,36 \$/kWh (Hydro-Québec, 2022).

Tableau 2.12 Estimation des coûts de revient des flux de DBMNA

Volume de flux de DBMNA	Unités	Coûts unitaires	Unités	Coûts de revient des flux	Unités
Flux enfoui : $Q_{DBM.ajusté}$	t	Redevance à l'enfouissement : R_e	\$/t	Coût de revient de l'enfouissement	\$
Flux reconditionné : $Q_{DBM.réemploi}$	t	Indice de prix des matières recyclées : I_i	\$/t	Coût de revient du reconditionnement	\$
Flux recyclé : $Q_{DBM.tot.r}$	t	Indice de prix des matières Recyclées : I_i	\$/t	Coût de revient du recyclage	\$
Énergie produite par Gazéification : W	kWh	Tarif d'électricité à grande puissance : T_E	\$/kWh	Coût de revient de l'énergie produite par la gazéification	\$

L'évaluation des coûts d'exploitation associés au traitement et les coûts d'investissement des déchets biomédicaux non anatomiques a été réalisée en utilisant une échelle binaire pour noter le premier critère, c'est-à-dire « faible » ou « élevé », tandis que le second a été noté sur une échelle de 1 à 3 (faible, intermédiaire et élevé), (ANNEXE II, Tableau-A II-3).

Critères sociaux

Le critère de conformité réglementaire et législative est évalué sur une échelle binaire, c'est-à-dire « oui » ou « non ». L'évaluation de l'acceptabilité sociale des technologies de traitement dans le cadre de cette évaluation est notée sur une échelle de 1 à 3 allant de « faible, intermédiaire et élevé », (ANNEXE II, Tableau-A II-4).

Critères de santé publique

Le critère de santé publique a pour objectif d'évaluer les effets d'une alternative de gestion des déchets biomédicaux non anatomiques (DBMNA) sur la santé et le bien-être de la communauté. Cela s'effectue en comparant l'efficacité des différentes technologies de traitement des alternatives, notamment en termes d'inactivation microbienne, comme indiqué au tableau 2.13.

Tableau 2.13 Comparatif technique des technologies de traitement
Adapté de UNEP (2012)

Technologie de traitement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Efficacité de l'inactivation microbienne	++	++	+	+	+	++	+	+++	+++	++

Légende : 1- Autoclaves; 2- Autoclaves hybrides; 3- Systèmes de traitement continu à vapeur; 4- Technologies micro-ondes discontinues; 5- Technologies micro-ondes continues; 6- Systèmes de traitement thermique par friction; 7- Systèmes de traitement thermique à sec; 8- Incinérateurs; 9- Technologies d'hydrolyse alcaline; 10- Systèmes de traitement chimique

2.4.2 Méthodes d'analyse multicritère PROMETHEE

Dans le cadre de cette étude, l'analyse comparative des scénarios s'est appuyée sur la méthode PROMETHEE. Autrement dit, l'analyse multicritère de cette étude se décline dans un cadre structuré, incluant des alternatives, une pondération des critères et des fonctions de préférence, comme décrit ci-après.

Étant donné un nombre fini d'alternatives $A = \{a_1, a_2 \dots, a_n\}$ et une famille de critères $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$, la comparaison par paire est effectuée pour chaque critère, où $d_k(a_i, a_j)$ est la différence entre l'évaluation de l'alternative sur le critère f_k .

$$d_k(a_i, a_j) = f_k(a_i) - f_k(a_j) \quad (2.11)$$

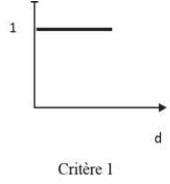
Les résultats de chaque comparaison de paires sont traduits dans un indice de préférence $P[d_k(a_i, a_j)]$ qui est compris entre 0 et 1 et dépend de la fonction de préférence associée au critère f_k .

Dans cette étude, deux types de fonctions de préférence sont utilisés pour évaluer les alternatives, avec les paramètres q et p représentant respectivement le seuil d'indifférence et le

seuil de préférence. Ces fonctions sont les suivantes : le vrai critère (critère usuel) et le critère linéaire.

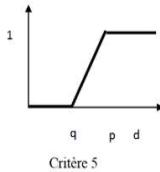
L'équation 2.12 décrit le vrai critère qui ne nécessite aucun seuil d'indifférence. Le choix s'est porté sur le vrai critère, car ce dernier constitue une fonction de préférence adaptée à l'évaluation des critères qualitatifs avec des échelles qualitatives distinctes.

$$P[d_k(a_i, a_j)] = \begin{cases} 0 & \text{si } d_k(a_i, a_j) = 0 \\ 1 & \text{si } d_k(a_i, a_j) \neq 0 \end{cases} \quad (2.12)$$



L'équation 2.13 décrit le critère linéaire. La préférence linéaire s'applique aux critères quantitatifs lorsqu'un seuil d'indifférence q est requis.

$$P[d_k(a_i, a_j)] = \begin{cases} 0 & \text{si } |d_k(a_i, a_j)| \leq q \\ \frac{(d_k(a_i, a_j) - q)}{(p - q)} & \text{si } q < |d_k(a_i, a_j)| \leq p \\ 1 & \text{si } |d_k(a_i, a_j)| > p \end{cases} \quad (2.13)$$



Ensuite, l'indice multicritère est calculé en tenant compte des poids de chaque critère, ce qui conduit aux flux sortants et entrants, comme l'illustre l'équation 2.14.

$$\begin{aligned}\pi(a_i, a_j) &= \frac{\sum_k P_k(a_i, a_j)}{\sum_k w_k} \\ \Phi^+(a_i) &= \sum_{x \in K} \pi(a_i, x) \\ \Phi^-(a_i) &= \sum_{x \in K} \pi(x, a_i)\end{aligned}\tag{2.14}$$

Le flux sortant, ou flux positif, indique dans quelle mesure une option surpassé toutes les autres. Le flux entrant, ou flux négatif, exprime à quel point une option est surpassée par les autres alternatives.

2.4.3 Pondération des critères

La pondération des critères reflète les préférences des différentes parties prenantes à la gestion des matières résiduelles en milieu hospitalier, qui se traduisent par leurs décisions et leurs choix. Considérant les quatre grandes catégories de critères, soit l'environnement, la finance, le social et la santé publique, un premier profil de de pondération (profil référence) alloue 25 % des poids des critères à chaque catégorie de critère, réparti uniformément entre les critères qui composent la catégorie.

Pour tenir compte de la diversité des points de vue des acteurs et évaluer leur impact sur le classement des scénarios, quatre profils de décideurs sont définis autour des objectifs suivants : (1) minimiser l'impact environnemental, (2) optimiser la rentabilité financière, (3) atténuer l'inconfort social et (4) réduire le risque biologique relatif à la santé publique. Pour chacun des jeux de pondération, 70 % du poids total est attribué à la catégorie de critères correspondant au profil considéré, tandis que les trois autres familles de critères reçoivent chacune une pondération de 10 %. Ainsi, un jeu de pondération de 70 % est réparti uniformément entre les critères d'un décideur, tandis que les 30 % restants sont répartis entre les autres types de critères.

Ainsi, le tableau 2.14 présente les valeurs des poids attribués à chaque critère pour les quatre profils, ainsi qu'une synthèse des principales caractéristiques pertinentes à l'application de la méthode PROMÉTHÉE.

Tableau 2.14 Critères et paramètres associés (interface Visual PROMÉTHÉE)

Scénarios	Poids (%)				Type	Fonction de préférence	Seuil d'indifférence (q)	Seuil de préférence (p)
	Critères	Env.	Fin.	Soc.				
Émission de GES	17,5	2,5	2,5	2,5	Quantitatif	Linéaire	1	18606
Perte de matière première	17,5	2,5	2,5	2,5	Quantitatif	Linéaire	1	2
Énergie consommée	17,5	2,5	2,5	2,5	Quantitatif	Linéaire	251901	504425
Réutilisation de la ressource primaire	17,5	2,5	2,5	2,5	Quantitatif	Linéaire	1	2
Conformité réglementaire	5,00	5,00	35	5,00	Qualitatif	Vrai	n/d	n/d
Acceptabilité sociale	5,00	5,00	35	5,00	Qualitatif	Vrai	n/d	n/d
Coûts d'investissement	3,33	23,3	3,33	3,33	Qualitatif	Vrai	204118	554760
Coûts d'opération de traitement	3,33	23,3	3,33	3,33	Qualitatif	Vrai	n/d	n/d
Coûts de revient	3,33	23,3	3,33	3,33	Quantitatif	Linéaire	1	2
Probabilité d'exposition	3,33	23,3	3,33	23,3	Qualitatif	Vrai	n/d	n/d
Conséquences négatives sur la santé	3,33	3,33	3,33	23,3	Qualitatif	Vrai	n/d	n/d
Efficacité de l'inactivation	3,33	3,33	3,33	23,3	Qualitatif	Vrai	n/d	n/d
Total	100	100	100	100				

Le poids attribué à chaque critère reflète son importance relative dans l'évaluation. Par exemple, les critères liés à l'empreinte carbone, à la perte de matière première, à l'énergie consommée et à la réutilisation des ressources primaires ont chacun un poids de 17,5 %, soulignant leur importance dans le scénario environnement. En revanche, dans le scénario financier, les critères concernant les coûts d'investissement, les coûts d'opération de traitement et les coûts de revient se voient attribuer un poids de 23,3 %.

CHAPITRE 3

RÉSULTATS

Ce chapitre présente les résultats qui découlent de l'application de la démarche méthodologique à l'étude de cas. La première section met en exergue le portrait des gisements de déchets biomédicaux non anatomiques du territoire étudié. La deuxième section explicite la conception des scénarios de gestion opérationnelle de ces matières résiduelles. Enfin, la troisième section aborde l'analyse comparée des filières de fin de vie des déchets biomédicaux non anatomiques du réseau de la santé de l'île de Montréal.

3.1 Cartographie des gisements de déchets biomédicaux non-anatomiques du territoire à l'étude

Cette section de l'étude présente une cartographie des valeurs obtenues relatives aux gisements de DBMNA dans le réseau de la santé de l'agglomération de Montréal. Ce travail a d'abord consisté à établir des valeurs de base. Par la suite, ces données secondaires ont permis d'estimer les volumes des différents flux de déchets biomédicaux non anatomiques. Le tableau 3.1 présente ces valeurs de base.

Tableau 3.1 Valeurs de base du bilan de flux

Sources	Valeurs		
	Nombre de lits permis (litsper)	Masse DBM (t/an)	Ratio (t/lit/an)
CHUM (2010)	650	350	0,54*
Compendium of Technologies for the Treatment/Destruction of Healthcare Waste (2012)	-	-	0,20
Santé Synergie Environnement (2013)	250	42,2	0,17*
Moyenne			0,30*

* valeurs calculées.

Le tableau 3.1 met en avant les variations du ratio de DBM généré dans des installations sanitaires pour différentes années. Ces fluctuations peuvent s'expliquer par les différentes méthodes d'évaluation de ce ratio, la modification des politiques de conception des soins et les changements dans la chaîne d'approvisionnement responsable. En termes de conceptions des soins, cela inclut une révision du protocole de traitement et de nouvelles technologies médicales moins génératrices de déchets solides. En ce qui concerne la chaîne d'approvisionnement, le volume de DBM est lié à l'utilisation du matériel réutilisable ou du matériel médical à usage unique.

Pour mettre en lumière les flux de DBMNA provenant des gisements (CH et CHSLD répartis par CIUSSS), l'analyse est réalisée sous deux angles. En premier lieu, le tableau 3.2 présente le volume de DBMNA généré en fonction du nombre de lits autorisés au permis.

Tableau 3.2 Comparaison du volume de déchets biomédicaux non anatomiques par installation du réseau sanitaire de Montréal

CIUSSS	Lits autorisés au permis (CH)		Lits autorisés au permis (CHSLD)		Lits autorisés au permis (CHSLD et CH)	
	Capacité de lits autorisés au permis ¹⁾	DBM [0,30 t/lit/an]	Capacité de lits autorisés au permis ¹⁾	DBM [0,30 t/lit/an]	Capacité de lits autorisés au permis (CHSLD et CH)	DBM (CHSLD et CH)
	(lit/an)	(t/an)	(lit/an)	(t/an)	(lit/an)	(t/an)
Est-de-l'Île-de-Montréal	1260	378	2544	763	3804	1141
Ouest-de-l'Île-de-Montréal	434	130	1151	345	1585	476
Centre-Ouest-de-l'Île-de-Montréal	2288	686	1628	488	3916	1175
Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal	360	108	2810	843	3170	951
Nord-de-l'Île-de-Montréal	2006	602	3153	946	2952	1548
Totale	6348	1904	14 039	3384	10 560	5291

Selon les données du tableau 3.2, les CHSLD génèrent plus de DBMNA que les CH, avec des productions respectives de 3 384 t/an (64 %) et 1 904 t/an (36 %). Le faible taux de roulement des clients (personnes âgées atteintes de maladies chroniques), en lien avec le type de soins et de services offerts, explique le besoin accru en lits dans les CHSLD par rapport aux CH. En tant qu'établissements d'hébergement permanent ou temporaire, les CHSLD sont destinés à des séjours de longue durée. Cela entraîne un besoin accru de lits. Pour les CH, le plus grand producteur de DBMNA par CIUSSS est le CIUSSS du Centre-Ouest-de-l'Île-de-Montréal qui produit 686 t/an (36 %). Cette masse de production est due au nombre d'hôpitaux de soins généraux et spécialisés publics situés dans son territoire, soit 10 hôpitaux. C'est le cas du réseau du Site Glen- Centre universitaire de santé McGill, dont la capacité de production est de 163 t/an. Le plus grand producteur parmi les CHSLD, tous les CIUSSS confondus, est le CIUSSS du Nord-de-l'Île-de-Montréal qui génère 28 % des déchets, soit 946 t/an. En combinant les

productions de DBMNA provenant à la fois des installations de centres hospitaliers (CH) et des centres d'hébergement de soins de longue durée (CHSLD), le CIUSSS du Nord-de-l'Île-de-Montréal se hisse au premier rang des producteurs de DBMNA.

En ce qui concerne les exemples d'installations physiques, le Centre d'hébergement Notre-Dame-de-la-Merci et le Centre gériatrique Maimonide Donald Berman (CHSLD) se distinguent de tout le réseau sanitaire par leur capacité de production de DBM non anatomiques, estimée à 121 t/an (3,6 %) et 117 t/an (3,5 %), respectivement. En revanche, le CHSLD des Bâtisseurs et le Centre d'Hébergement Waldorf présentent la plus faible capacité, avec 5 t/an (0,2 %). Parmi les CH du réseau de santé de l'île de Montréal, l'Hôpital général juif se démarque avec une production d'environ 189 t/an (9%) de DBMNA.

En deuxième lieu, la figure 3.1 présente les proportions de DBMNA attribuables à chaque unité de soins, réparties par CIUSSS, en fonction du volume de lits occupés. Cette figure présente une répartition géographique des gisements de DBMNA par unité d'hospitalisation et hébergement à travers les différents CIUSSS du réseau de la santé de l'agglomération de Montréal. Elle est élaborée à partir de la moyenne calculée sur trois années (2018-19; 2019-20; 2020-21) du bilan des lits dressés (ANNEXE III, Tableau-A III-1).

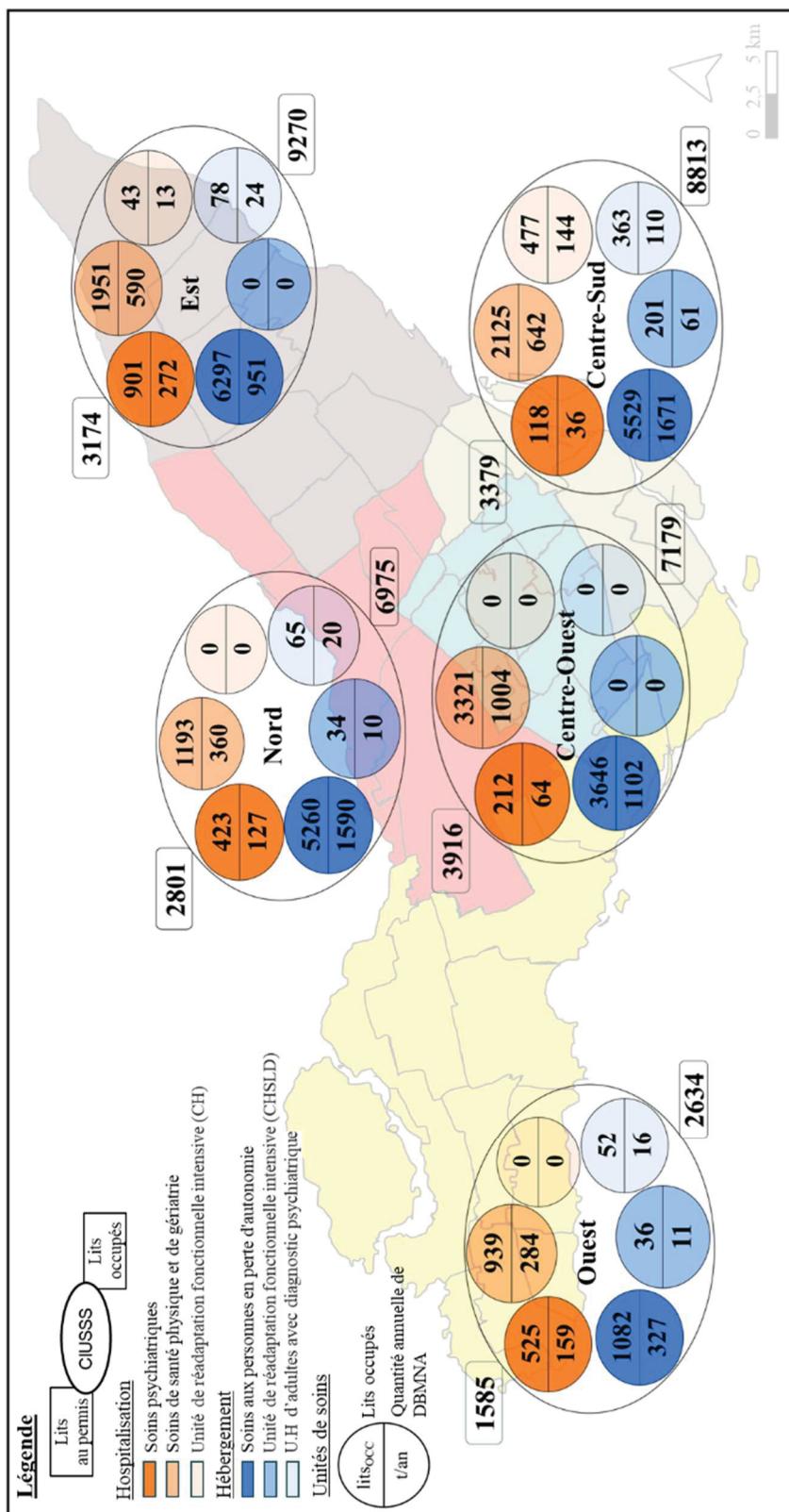


Figure 3.1 Répartition géographique des gisements de déchets biomédicaux non anatomiques par unité de soins

Les valeurs de la figure 3.1 montrent une grande variabilité dans les lits occupés et autorisés à travers les différents établissements. Le CIUSSS de l'Est affiche une différence de 192 % entre les lits autorisés au permis (3174 lits_{per}) et ceux occupés (9270 lits_{occ}). Le CIUSSS du Centre-Sud affiche aussi un écart significatif avec 161 % (3376 lits autorisés pour 8813 lits occupés), suivi du CIUSSS du Nord à 149 % (2801 lits autorisés au permis pour 6975 lits occupés). Les CIUSSS de l'Ouest et du Centre-Ouest, quant à eux, montrent des écarts moindres, respectivement à 66 % et 83 %. Globalement, l'écart total se situe à 135 %, ce qui souligne une tendance générale de dépassement des lits autorisés au permis dans les établissements (CIUSSS) étudiées.

La quantité de DBMNA générée par les unités d'hébergement diffère de celui des unités d'hospitalisation. L'écart global de 59 % (3695 t/an générée dans les unités d'hospitalisation et 5891 t/an dans les unités d'hébergement) sur l'ensemble des CIUSSS souligne une tendance générale où les unités d'hébergement génèrent un volume de DBMNA supérieur à celui des unités d'hospitalisation. Toutefois, une exception est observée au CIUSSS de l'Ouest-de-l'Île-de-Montréal, où le volume de DBMNA en hospitalisation est supérieur avec 442 t/an comparativement à 354 t/an pour les unités d'hébergement. Le CIUSSS du Nord affiche l'écart le plus élevé avec 232 % (488 t/an générée dans les unités d'hospitalisation et 1619 t/an dans les unités d'hébergement), témoignant d'un déséquilibre substantiel en faveur de l'hébergement par rapport à l'hospitalisation. Le CIUSSS du Centre-Sud suit avec un écart de 124 %, soit 822 t/an dans les unités d'hospitalisation et 1841 t/an dans les unités d'hébergement. Les CIUSSS de l'Ouest et de l'Est présentent des écarts de 25 % (442 t/an générée dans les unités d'hospitalisation et 354 t/an dans les unités d'hébergement) et 11 % (875 t/an générée dans les unités d'hospitalisation et 975 t/an dans les unités d'hébergement), respectivement, tandis que le CIUSSS du Centre-Ouest présente un écart de 3 % (1068 t/an générée dans les unités d'hospitalisation et 1102 t/an dans les unités d'hébergement), signalant un équilibre relatif entre les quantités de DBMNA générée dans les unités d'hospitalisation et d'hébergement.

En considérant les pourcentages de répartition des DBMNA générées par type d'unité de soins dans les différents CIUSSS, les unités de Soins infirmiers pour personnes en perte d'autonomie (hébergement) et les soins de santé physique et de gériatrie (hospitalisation) génèrent 59 % (5641 t/an) et 30 % (2880 t/an) du volume total des DBMNA à l'échelle du réseau sanitaire. De la proportion de 59 % du volume total de DBMNA générés par les unités de soins infirmiers pour personnes en perte d'autonomie dans le réseau sanitaire, deux CIUSSS se démarquent, soit le CIUSSS du Centre-Sud, avec un volume annuel de 1671 t/an (63 %), et le CIUSSS du Nord, avec 1590 t/an (75 %).

En comparant toutes les unités de soins de santé physique et de gériatrie des différents CIUSSS, le CIUSSS du Centre-Ouest se démarque avec une production annuelle de 1004 t/an, représentant 35 % du total de DBMNA générée dans cette catégorie. Ce dernier est suivi par le CIUSSS du Centre-Sud avec 642 t/an, soit 22 %, le CIUSSS de l'Est et de l'Ouest avec des contributions de 20 % (589 t/an) et 10 % (289 t/an) respectivement.

Les unités de soins psychiatriques (PSY) génèrent un volume de DBMNA de 658 t/an, soit 11 % du volume total de toutes les unités de soins du réseau sanitaire. En comparant les unités de soins psychiatriques (PSY) dans l'ensemble des CIUSSS, le CIUSSS de l'Est enregistre la plus grande part avec 272 t/an (41 %), tandis que le CIUSSS du Centre-Sud affiche la plus faible proportion, représentant 5 % du volume total de DBMNA avec 36 t/an.

Les unités d'hébergement et de soins de longue durée pour adultes avec un diagnostic psychiatrique génèrent un volume de DBMNA totalisant 168 t/ an, soit 3 % de l'ensemble des unités de soins du réseau sanitaire. En comparant les unités d'hébergement et de soins de longue durée pour adultes avec diagnostic psychiatrique des cinq CIUSSS, le CIUSSS du Centre-Sud se distingue avec un volume de 110 t/an, représentant 65 % de cette catégorie.

3.2 Bilan des flux de déchets biomédicaux non-anatomiques

Cette section vise à établir le bilan des flux pour des scénarios multifilières de traitement des DBM non anatomiques au sein du réseau de la santé de l'agglomération de Montréal. Elle fait référence à l'amélioration des processus opérationnels, ainsi que l'implantation de scénarios de gestion en fin de vie des DBMNA. La figure 3.2 présente le bilan des flux associés aux quatre scénarios retenus. Elle illustre le flux de la masse totale de déchets biomédicaux non anatomiques (DBMNA) générée (9088 t/an), basée sur le nombre de lits occupés dans les unités de soins du réseau de la santé de l'agglomération de Montréal (34 871 lits).

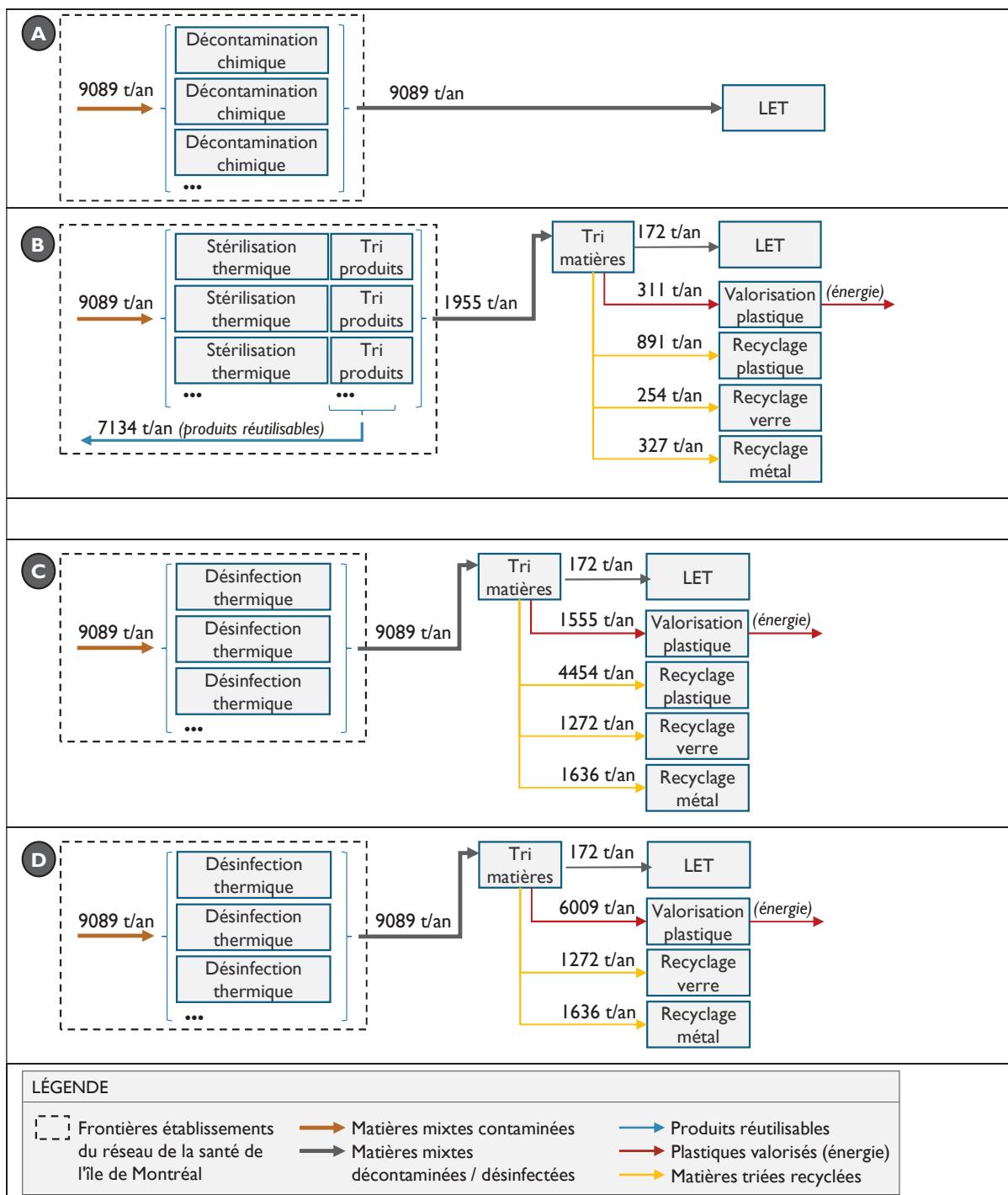


Figure 3.2 Bilan des flux de DBMNA pour les quatre scénarios a) décontamination et enfouissement; b) stérilisation et reconditionnement; c) désinfection et recyclage; d) désinfection et valorisation énergétique

Cette représentation (figure 3.2) illustre la répartition des flux à chaque étape dans les différents scénarios de gestion des DBMNA tout au long de la chaîne de valeur en fin de vie utile (traitement-valorisation/élimination). Elle met en lumière la gestion en cascade des filières de gestion en fin de vie des DBMNA. Cette représentation décrit une approche intégrée, mettant en évidence les interactions et la complémentarité des quatre filières tout au long des différents scénarios de gestion des DBMNA. À ce propos, l'enfouissement apparaît comme une solution de fin de vie, appliquée seule ou en combinaison avec d'autres filières dans tous les scénarios. Cependant, la proportion de déchets ultimes à enfouir varie entre les différents scénarios, 9088 t/an pour le scénario (a) contre 172 t/an pour le scénario (b). Quant au scénario de valorisation énergétique (c), celui-ci renvoie le flux le plus élevé vers les installations du réseau de la santé, soit 8179 t/an, convertie en énergie électrique, équivalent à 818 000 kWh/an. De plus, dans le scénario de reconditionnement (b), une quantité significative de DBMNA non fonctionnels pour la redistribution, est par la suite valorisée par le recyclage (1472 t/an). Ce volume plus élevé que dans les autres scénarios. Par voie de conséquence, la quantité de déchets ultimes pourrait dépendre de l'efficacité et du type de technologies de traitement de DBMNA employées dans chaque scénario.

Le tableau 3.3 illustre les étapes préalables de décontamination systématique requises avant le transport vers les filières de valorisation. En d'autres termes, il présente de manière détaillée les processus impliqués, depuis la collecte et la décontamination initiale jusqu'aux étapes finales de valorisation, de recyclage ou d'élimination.

Tableau 3.3 Les étapes de retraitements
des dispositifs médicaux critiques
Adapté de INSPQ (2014)

Enfouissement	Réemploi	Recyclage en vrac	Valorisation énergétique (gazeification)
<ul style="list-style-type: none"> •Pré-nettoyage, •Réception, tri et démontage •Trempage et nettoyage (mécanique et manuel) •Décontamination (chlore) •Enfouissement 	<ul style="list-style-type: none"> •Pré-nettoyage, inspection sommaire et transport des dispositifs médicaux contaminés •Réception, tri et démontage •Trempage et nettoyage (mécanique et manuel) •Obtention des granulés 	<ul style="list-style-type: none"> •Pré-nettoyage, •Réception, tri et démontage •Trempage et nettoyage (mécanique et manuel) •Séchage et inspection •Emballage •Désinfection (autoclave) <p><i>Recyclage plastique</i></p> <ul style="list-style-type: none"> •Collecte des plastiques •Broyage et le nettoyage •Séchage •Homogénéisation •Obtention des granulés <p><i>Recyclage verre (production de nouveaux conteneurs)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> •Tri par couleur •Refonte •Fabrication produits finis <p><i>Recyclage métal</i></p> <ul style="list-style-type: none"> •Refonte •Extrusion/Laminage •Fabrication produits semi-finis 	<ul style="list-style-type: none"> •Pré-nettoyage, •Réception, tri et démontage •Trempage et nettoyage (mécanique et manuel) •Séchage et inspection •Desinfection (gazeification) •Séchage de la matière (gazeification) •Pyrolyse des intrants •Oxydation des gaz de pyrolyse •Réduction du carbone

Le tableau 3.4 met en perspective les forces et faiblesses des différentes technologies de traitement utilisées dans les scénarios de gestion intégrée des déchets biomédicaux non anatomiques.

Tableau 3.4 Synthèse des forces et faiblesses des technologies de traitement
des scénarios
Adapté de UNEP (2012)

Scénario	Force	Faiblesse	Référence
Décontamination chimique-Enfouissement (Traitement chimique à base de chlore)	L'efficacité du chlore et des composés chlorés, tels que l'hypochlorite de sodium, est bien établie depuis longtemps. Le dioxyde de chlore, en tant qu'alternative à l'hypochlorite, est également reconnu comme un désinfectant à large spectre. Des études ont démontré son aptitude à neutraliser divers agents pathogènes tels que les bactéries, les virus (comme le VIH et le poliovirus), les protozoaires, les champignons et les algues.	L'efficacité et la rapidité de la désinfection chimique dépendent de diverses conditions opérationnelles. Ces technologies sont de moins en moins utilisées en raison de préoccupations environnementales et de sécurité au travail. La nature corrosive ou毒ique des désinfectants chimiques représente une considération essentielle.	UNEP (2012). <i>Compendium of Technologies for treatment / destruction of healthCare Waste.</i> Osaka, Japan. International Environmental Technology Centre.
Stérilisation thermique-Reconditionnement (Procédé sec par micro-onde/Technologies micro-ondes continues)	Une étude microbiologique sur les déchets traités par une unité à micro-ondes continue a démontré l'absence de croissance de micro-organismes, indiquant une mortalité de $7 \log_{10}$. Par ailleurs, un test de lixiviation caractéristique de toxicité (TCLP) sur les résidus de déchets provenant d'une unité à micro-ondes, réalisé par un laboratoire en Floride, a conclu que ces résidus pouvaient être considérés comme non dangereux.	Pour l'unité micro-ondes continue, l'entretien quotidien implique l'inspection de 24 éléments. Bien que le problème d'odeur soit quelque peu réduit, il persiste à proximité immédiate du micro-ondes.	UNEP (2012). <i>Compendium of Technologies for treatment / destruction of healthCare Waste.</i> Osaka, Japan. International Environmental Technology Centre.

Tableau 3.4 Synthèse des forces et faiblesses des technologies de traitements
des scénarios (suite)
Adapté de UNEP (2012)

Scénario	Force	Faiblesse	Référence
Désinfection thermique-Recyclage (Procédé par vapeur chaude (autoclave hybride))	Les autoclaves hybrides présentent plusieurs avantages, notamment la capacité à atteindre des niveaux élevés de désinfection en un temps réduit grâce à des taux de transfert de chaleur améliorés. Ils nécessitent peu d'attention de la part de l'opérateur et ils intègrent des dispositifs, tels que des filtres à charbon actif ou des filtres HEPA, pour éliminer les odeurs.	Les autoclaves hybrides demandent généralement un entretien plus fréquent que les autoclaves standards en raison de la présence de pièces mobiles internes. En cas de mauvaise séparation des flux de déchets, empêchant ainsi l'introduction de produits chimiques dangereux dans la chambre de traitement, cela peut entraîner la libération de contaminants toxiques dans l'air, les condensats ou les déchets traités. Un inconvénient associé aux systèmes de traitement à la vapeur plus sophistiqués est le coût en capital.	UNEP (2012). <i>ComPendiUm of teChnologies for treatment / destrUCtion of healthCare Waste.</i> Osaka, Japan. International Environmental Technology Centre.
Désinfection thermique-Valorisation énergétique (Processus à haute température (gazéification))	Le processus est optimisé pour produire la quantité maximale de produits de dégradation gazeux, comprenant généralement du monoxyde de carbone, du dioxyde de carbone, de l'hydrogène, du méthane, de l'eau, de l'azote, et de petites quantités d'hydrocarbures supérieurs.	La mise en œuvre de la gazéification implique des coûts d'investissement et d'exploitation substantiels. Cette méthode génère invariablement des sous-produits solides et liquides, susceptibles de contenir des concentrations élevées de contaminants toxiques.	UNEP (2012). <i>ComPendiUm of teChnologies for treatment / destrUCtion of healthCare Waste.</i> Osaka, Japan. International Environmental Technology Centre.

3.3 Analyse comparée des alternatives de gestion de filières de fin de vie des déchets biomédicaux non anatomiques

Cette section propose une analyse comparative des différentes alternatives pour la gestion des filières de fin de vie des DBMNA. L'évaluation s'appuie sur des critères, tels que l'environnement, les finances, le social ; et la santé publique. Elle présente également la liste des données calculées pour chaque scénario, ainsi que le classement des alternatives selon la méthode PROMÉTHÉE basé sur les flux nets.

Les analyses montrent que les scénarios évalués présentent des avantages et désavantages selon les critères environnementaux, financiers, sociaux et de santé publique. Néanmoins, la désinfection-gazéification présentent des avantages sur l'ensemble de ces critères. D'un point de vue financier, trois options, à savoir la stérilisation-reconditionnement, la désinfection-recyclage et la désinfection-gazéification, montrent des avantages notables. En ce qui a trait à la santé publique, les scénarios de stérilisation-reconditionnement et de désinfection-gazéification se démarquent positivement. Le tableau 3.5 présente les données associées à chaque critère pour l'ensemble des scénarios, offrant ainsi une base pour comparer les différentes options envisagées.

Tableau 3.5 Données pour chacun des quatre scénarios de traitement des DBMNA

Sous-critères	Unités	Scénario 1 : Décontamination -Enfouissement	Scénario 2 : Stérilisation-Reconditionnement	Scénario 3 : Désinfection-Recyclage	Scénario 4 : Désinfection-gazéification
Flux de DBMNA	t/an	9088	7271	7361	8180
Emissions de GES	(t CO _{2e})	62,4	0	0	15 014
Perte de matière première	(%)	100	0	83	0
Energie consommée	(Gj)	937	0	0	128
Réutilisation de la ressource primaire	(%)	0	100	16	0
Conformité réglementaire	(o/n)	Oui	Non	Non	Non
Acceptabilité sociale	(4 points)	Mauvais	Bon	Bon	Très mauvais
Coûts d'investissement	(\\$)	Très bon	Bon	Très bon	Très mauvais
Coûts d'opération de traitement	(\\$)	Faibles	Faibles	Élevés	Élevés
Coûts de revient	(\\$)	148 319	3 662 151	3 662 151	2 098 320
Probabilité d'exposition	(3 points)	Très improbable	Probable	Improbable	Improbable
Conséquences négatives sur la santé	(impact)	Minimales	Mineures	Minimales	Modérées
Efficacité de l'inactivation microbienne	(4 points)	Bon	Très bon	Bon	Très bon

Après avoir associé des données aux critères (tableau 3.5) pour les quatre scénarios de traitement des DBMNA, la figure 3.3 présente une représentation en diamant du classement des scénarios selon la méthode PROMETHEE. Dans cette représentation bidimensionnelle, chaque action est symbolisée par un point dans le plan (Φ^+ , Φ^-), incliné à 45 degrés afin que la dimension verticale (axe vert-rouge) corresponde au flux net Φ .

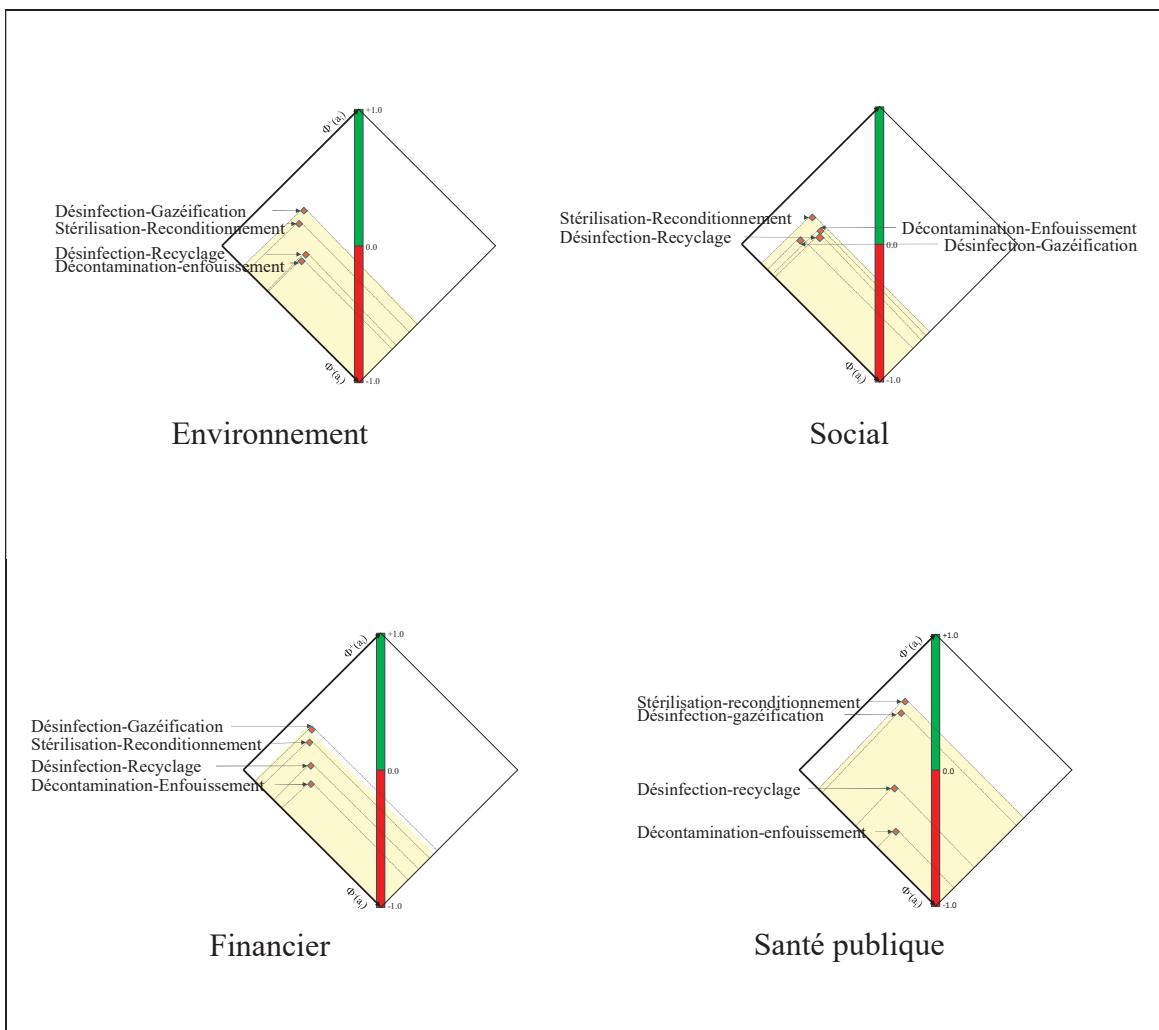


Figure 3.3 Représentation en diamant des résultats obtenus avec PROMÉTHEE pour les différents profils de pondération

Les points dans le plan (Φ_+ , Φ_-) de la représentation bidimensionnelle (figure 3.3) offre un classement complet selon la méthode PROMETHEE, permettant ainsi de mieux comprendre les compromis entre les critères environnementaux financiers, sociaux et de santé publique. Les résultats du classement des scénarios sont ainsi affichés pour chaque profil de décideur. Selon le profil environnemental, la gazéification réduit significativement les volumes de DBMNA (déchets biomédicaux non anatomiques) en les convertissant en énergie (électricité), malgré un impact carbone élevé et des enjeux d'acceptabilité sociale. Quant à la stérilisation et au reconditionnement, cette méthode encourage la réutilisation de matériaux PVM après désinfection, limitant les besoins en matières premières et diminuant la quantité de DBMNA envoyée en décharge. Ses faiblesses résident dans les coûts d'exploitation et la conformité réglementaire. Bien qu'elles soient performantes pour une gestion optimale des DBMNA, les méthodes de gazéification et de reconditionnement nécessitent d'importants investissements initiaux en infrastructure, une expertise technique, et des contrôles rigoureux pour garantir leur efficacité et leur conformité aux normes de santé publique.

Selon le profil financier, la désinfection-gazéification se trouve à l'avant avec son fort potentiel de rentabilité sur le long terme, en raison de la création d'énergie à partir des DBMNA. La désinfection-recyclage se classe en deuxième position grâce à la revente des matériaux recyclés, formant un cycle économique positif. Bien que la stérilisation-reconditionnement ne prenne pas immédiatement les premières places, elle est économiquement viable grâce à la prolongation du cycle de vie des matériaux médicaux, qui ne nécessite pas d'achats fréquents et forme des économies substantielles pour les établissements du réseau de la santé. La décontamination chimique-enfouissement n'a pas obtenu les premières places dans la majorité des scénarios d'évaluation, sauf dans le contexte de pondération sociale.

Selon le profil social, la méthode de stérilisation-reconditionnement est préférée. L'approche est évaluée socialement performante, et elle peut être appliquée pour réutiliser les matériaux médicaux, de sorte que l'exposition au risque infectieux soit minimisée et que l'acceptation de la communauté soit plus facile à réaliser. La méthode de décontamination-enfouissement (2^e

position), malgré le fait qu'elle évolue potentiellement négativement du point de vue de la socialité à long terme étant donné les préoccupations relatives à l'enfouissement, est socialement acceptable, car elle est régulée. D'un autre côté, la désinfection-gazéification (4^e position) est pénalisée pour sa non-conformité règlementaire, malgré son avantage possible pour d'autres conditions en termes de technique ou d'efficacité environnementale. Dans ce scénario, des préoccupations sociales, telles que l'acceptation et la conformités règlementaires, sont appliquées. En conséquence, les technologies de traitement et valorisation de DBMNA qui pourraient être autrement perfectionnées d'un point de vue environnemental sont classées plus bas en termes de valeur que celles qui sont considérées comme plus efficaces pour l'aspect social. Par conséquent, dans un scénario de pondération sociale élevée, la stérilisation-reconditionnement constitue la meilleure option, suivi de la décontamination-enfouissement.

Selon le profil de santé publique, la stérilisation et le reconditionnement, bien que nécessitant des dispositifs complexes pour minimiser les risques biologiques, offrent une excellente combinaison d'optimisation de la sécurité et de réutilisation du matériel médical. La gazéification, en quatrième position, constitue une alternative efficace pour l'élimination complète des agents pathogènes. La désinfection-recyclage, qui neutralise les germes par des procédés de traitement et de transformation, se classe en troisième position. Enfin, la décontamination par enfouissement, classée dernière, présente des risques pour la santé publique en raison de la possibilité de propagation des infections.

Le tableau 3.6 présente les flux ainsi que le classement PROMÉTHÉE des scénarios illustrés à la figure 3.3. Les performances relatives de ces différentes alternatives, en termes de flux sortants et entrants, sont détaillées en annexe (ANNEXE III, Tableau-A III-3).

Tableau 3.6 Flux et classement PROMETHÉE des scénarios

	Classement	Flux net F	Flux sortant F+	Flux entrant F-
Profil de pondération : Environnement				
Décontamination - Enfouissement	4	-0,13	0,21	0,34
Stérilisation - Reconditionnement	2	0,05	0,30	0,25
Désinfection - Recyclage	3	-0,10	0,23	0,34
Désinfection - Valorisation énergétique par gazéification	1	0,18	0,39	0,20
Profil de pondération : Financier				
Décontamination -Enfouissement	4	-0,34	0,07	0,41
Stérilisation - Reconditionnement	3	-0,04	0,18	0,22
Désinfection - Recyclage	2	0,17	0,28	0,11
Désinfection - Valorisation énergétique par gazéification	1	0,20	0,29	0,08
Profil de pondération : Social				
Décontamination - Enfouissement	2	-0,00	0,37	0,37
Stérilisation - Reconditionnement	1	0,06	0,35	0,28
Désinfection - Recyclage	3	-0,02	0,29	0,32
Désinfection - Valorisation énergétique par gazéification	4	-0,02	0,35	0,38
Profil de pondération : Santé publique				
Décontamination - Enfouissement	4	-0,58	0,07	0,65
Stérilisation - Reconditionnement	1	0,47	0,63	0,15
Désinfection - Recyclage	3	-0,28	0,17	0,46
Désinfection - Valorisation énergétique par gazéification	2	0,39	0,56	0,17

Les résultats issus de l'analyse des scénarios avec la méthode PROMETHEE présentés au tableau 3.6 et la figure 3.3 montrent que le profil des décideurs influence le classement des scénarios mettant en lumière des priorités différentes. Les variations dans les classements des scénarios, en fonction des profils de décideurs, s'expliquent par les valeurs relatives des flux sortants (forces) et des flux entrants (faiblesses) qui leur sont associés. À ce propos, la désinfection et la valorisation énergétique par gazéification se classe en première position selon le profil environnement, avec des flux sortants d'une valeur relative de 66 % caractérisés par

l'absence de perte de matière première, contre des flux entrants représentants 34 %, notamment en raison de la quantité de GES émis (15 014 t CO_{2e}). Cependant, ce scénario occupe la dernière position selon le profil social, avec une valeur relative des flux entrants atteignant 52 %, en raison d'une faible acceptabilité sociale et d'une non-conformité réglementaire. En revanche, ce scénario obtient un flux sortant de 77 % (2^e position) pour le profil santé publique, grâce à son efficacité dans l'inactivation microbiologique et à une faible probabilité d'exposition aux risques infectieux. La stérilisation suivie du reconditionnement, mis en avant par le profil social et le profil de santé publique (1^{ere} position), se distingue par un flux sortant de 56 % et 81 % respectivement, marquée par une acceptabilité sociale positive. Cependant, ses performances pour les autres profils de décideurs sont limitées, avec des flux entrants atteignant 52 % (profil de décideur social), notamment en raison des contraintes opérationnelles et d'une acceptation sociale mitigée.

CHAPITRE 4

DISCUSSION

Cette section de l'étude examine la validité des résultats en se penchant du processus d'acquisition des données à la visualisation et compréhension de l'information. Elle se divise en trois parties. Une discussion générale sur les résultats est d'abords présentée. Les implications pratiques et théoriques de ces résultats sont ensuite abordées. Enfin, les limites et perspectives du projet sont discutées, puis des recommandations sont formulées.

4.1 Décision en matière de gestion intégrée des déchets biomédicaux non anatomiques

Cette section repositionne les résultats pour les gestionnaires. Le résumé des principaux résultats de cette étude fait référence en premier lieu à la caractérisation des gisements de DBMNA généré. En utilisant le ratio standard de 0,30 t/lit de DBMNA pour l'ensemble des générateurs, les valeurs paraissent cohérentes. Cependant, une caractérisation empirique pourrait révéler des variations considérables qui ne correspondent pas à ce ratio unique. En combinant la production de DBMNA en fonction de la capacité de lits autorisés par permis, provenant à la fois des centres hospitaliers (CH) et des centres d'hébergement de soins de longue durée (CHSLD), le CIUSSS du Nord-de-l'Île-de-Montréal se classe au premier rang des producteurs de DBMNA. Cependant, en se basant sur le nombre de lits occupés dans les unités de soins d'hospitalisation et d'hébergement, le Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal génère une plus grande quantité de DBMNA, avec 2664 t/an.

Malgré son caractère conforme sur le plan réglementaire, l'alternative décontamination-enfouissement reste la moins favorable en ce sens où elle présente des impacts environnementaux majeurs. Par ailleurs, la stérilisation-reconditionnement montre un bon rendement pour ce qui est de la réutilisation du matériel médical, malgré les enjeux de

conformité et d'exigence pour le contrôle de la qualité des soins. Pour la désinfection-recyclage, cette méthode constitue un compromis pour les enjeux environnementaux et sociaux. Cependant, les coûts d'exploitation limitent son application. En outre, la désinfection-gazéification constitue une méthode efficace, mais c'est l'option moins viable économiquement en ce sens qu'elle a des émissions de carbone massives et exige des investissements importants pour l'infrastructure et l'expertise technique.

En termes de répartition spatiale des gisements de DBMNA, la première hypothèse de l'étude, qui énonce qu'il existe une corrélation entre la concentration d'installations sanitaires et la production de déchets biomédicaux non anatomique dans le réseau de la santé de l'île de Montréal, est validée. En effet, Les données montrent que le CIUSSS du Nord-de-l'Île-de-Montréal est le plus grand producteur de DBMNA lorsque l'estimation se base sur la capacité de lits autorisés au permis. Cela confirme l'importance de la densité des établissements de soins dans la production de DBMNA, soulignant ainsi le rôle de cette variable dans la spatialisation des gisements.

La deuxième hypothèse de l'étude stipule que la combinaison de filières de traitement et valorisation des déchets biomédicaux permettrait de limiter la masse de déchets ultimes à enfouir. De ce fait, cette étude a proposé des scénarios qui permettraient de maximiser le volume des ressources récupérées et de minimiser les risques pour la santé publique tout en enfouissant un volume limité de DMNBA. Par exemple, la stérilisation-reconditionnement permet la réutilisation du matériel médical, malgré les enjeux liés à la conformité réglementaire et au contrôle de la qualité des soins, tandis que la désinfection-recyclage, malgré les coûts d'exploitation élevés, présente un bon pointage en termes de sécurité sanitaire (risque infectieux).

Par ailleurs, la troisième hypothèse formulée stipule que l'application de l'analyse multicritère dans l'évaluation des alternatives de traitement et valorisation des déchets biomédicaux non anatomiques permet d'identifier les meilleures options en ce qui concerne l'environnement,

les finances, le social et la santé publique. En effet, les résultats de l'analyse multicritère suggèrent que la désinfection-gazéification et la stérilisation-reconditionnement constituent de meilleures méthodes pour la réduction des déchets ultimes et pour assurer la sécurité sanitaire. En outre, l'analyse multicritère a permis de déterminer un compromis entre les alternatives relativement à l'efficacité environnementale, économique, sociale et sanitaire.

Les résultats de ce mémoire de recherche corroborent les études du MSSS (2017) qui soulignent que « La gazéification permet de minimiser et même d'éliminer l'enfouissement, avec peu ou pas de pollution. Il s'agit donc d'une technologie qui pourrait être un complément aux efforts de recyclage et de réutilisation des établissements ». De plus, les travaux du CICR (2011) sur la gestion des déchets médicaux corroborent les conclusions du présent mémoire, notant que le choix des procédés de traitement et d'élimination des déchets dépend de nombreux facteurs et le but principal devrait être de minimiser les risques négatifs pour la santé et l'environnement. Par conséquent, aucune solution n'est unique et universelle et le choix constitue toujours un compromis tenant compte des conditions locales.

4.2 Implications pratiques et théoriques des résultats

Théoriquement, les présents résultats participent à la compréhension du rapport existant entre les méthodes de traitement et les pratiques alternatives de valorisation des DBMNA. Sur le plan pratique, les résultats suggèrent que les établissements de santé devraient reconsidérer la perception du risque de contamination et opter pour des technologies de traitement de DBMNA dans un contexte de maîtrise du risque. Cela devrait être fait en tenant compte de leur budget de fonctionnement et des réglementations de conformité environnementales. Si tel est le cas, repenser l'organisation du programme de collecte des DBMNA triés à la source afin d'optimiser la fréquence des collectes, en réduisant les coûts et les émissions de GES liées au transport, tout en explorant des synergies avec les installations sanitaires dans une approche d'écologie industrielle.

Cette étude oriente vers une approche qui vise à comprendre les enjeux inhérents à l'application du principe de prévention et de circularité dans la gestion des DBMNA au sein du réseau de la santé de l'île de Montréal. La formation, la sensibilisation et l'éducation sur cette thématique pour toutes les parties prenantes, y compris le personnel d'hygiène et de salubrité, seraient l'une des premières étapes du projet d'implantation afin d'accélérer le changement de pratiques dans le réseau de la santé de l'île de Montréal.

Les résultats de la recherche sur la gestion des déchets biomédicaux non anatomiques soulèvent certes des enjeux d'ordre légal ouvrant la réflexion à des solutions optimales et pérennes. Les implications de cette étude touchent au cadre règlementaire, aux pratiques opérationnelles et à la sensibilisation des acteurs du réseau de la santé.

4.3 Limites et perspectives

Cette section a pour objectif d'identifier les limites de l'étude et d'expliquer comment celles-ci ont pu affecter les résultats. Elle suggère également des pistes pour limiter ces contraintes dans le cadre de recherches futures.

4.3.1 Limites de l'étude

Les choix méthodologiques et les résultats de l'étude sont soumis à des limitations. La sélection des gisements de DBMNA s'est limitée aux établissements publics et privés conventionnés, car ces établissements reçoivent un financement du gouvernement du Québec, contrairement aux établissements privés non conventionnés. Ceux-ci peuvent donc investir au premier regard dans des infrastructures de gestion des déchets biomédicaux non anatomiques modernes à la pointe de la technologie. Cela pourrait inclure des installations de valorisation avancées (gazéification), des technologies de stérilisation de pointe, et des systèmes de suivi SMART (Spécifique, Mesurable, Atteignable, Réaliste et Temporellement défini). Cette étude a été confrontée à des limitations notamment la disponibilité limitée de données concernant la

quantité de DBMNA générés sur les sites. Dans cette perspective, l'évaluation de la fiabilité des valeurs de flux estimées dans les quatre scénarios s'avère pertinente. Cette approche sur l'analyse de la sensibilité des valeurs de flux devrait se réaliser dans un contexte d'étude de cas en milieu hospitalier. Le manque de données probantes sur la caractérisation de DBMNA serait potentiellement lié aux risques de propagation d'agents infectieux inhérents à leur manipulation. Toutefois, les opérateurs pourraient envisager l'automatisation du processus de manipulation afin de mieux maîtriser le risque, dans le but de déterminer le volume de DBMNA généré. De plus, une autre option pour estimer le flux de matériel médical serait d'exploiter les données provenant de la chaîne d'approvisionnement, en s'appuyant sur des outils tels que les appels d'offres, les factures et les rapports de reddition de comptes des fournisseurs.

Les technologies de traitement choisies dans le cadre de l'étude n'intègrent pas le broyage des DBMNA. Pourtant, le broyage présente des avantages, non seulement en améliorant le transfert de chaleur, mais aussi en réduisant le volume des déchets jusqu'à 80 % (UNEP, 2012). Ce processus n'a pas été pris en considération comme un complément aux technologies de traitement adoptées à l'étude, soit pour les traitements chimiques au chlore, la gazéification et l'autoclave hybride. Le broyage permet non seulement de réduire considérablement le volume des déchets biomédicaux non anatomiques et les risques de blessures lors de l'enfouissement, mais facilite également, dans certains cas, le recyclage des matières plastiques et des aiguilles. De plus, certains procédés combinent le broyage à un traitement par micro-ondes (MSSS, 2017). De plus, l'impact des technologies après le traitement des DBMNA n'a pas été pris en compte, notamment le masse et la composition des sous-produits des scénarios.

Lors du bilan des flux, les émissions relatives aux technologies de traitement et de valorisation n'ont pas été prises en compte, notamment lors de la production de sous-produits tels que les gaz combustibles et les résidus solides (charbon et cendres). Pour estimer le flux de DBMNA dans un système décentralisé, le taux de traitement de chaque procédé utilisée est un prérequis. Cela comprend le calcul de la quantité de DBMNA manipulable par unité de temps, que ce soit

par jour ou par semaine. Chaque méthode de traitement doit faire l'objet d'une estimation des volumes traités en fonction de l'équipement et des procédés employés. Les quantités de produits générés doivent également être quantifiées. En d'autres termes, cela nécessite d'estimer les quantités de produits générés à partir des taux de conversion spécifiques à chaque méthode. Ainsi, lorsqu'un procédé de valorisation produit des résidus solides, des gaz ou des liquides, leurs coproduits doivent également être mesurés. Une des limitations de cette étude réside dans l'opportunité manquée de quantifier les pertes de matières et d'énergie. Ces pertes se produisent pendant la valorisation des DBMNA en matériaux réutilisables ou même pendant le traitement en tant que tel, sous forme de chaleur, de combustion, et autres. Une analyse approfondie des pertes de matières et d'énergie en complément à cette étude, aidera à améliorer l'efficacité des procédés et le rendement des scénarios. Ainsi, le bilan de flux des scénarios gestion intégrée des DBMNA reposerait sur :

- l'estimation des quantités de DBMNA traitées par unité de temps selon la méthode;
- la quantification des produits générés en fonction des taux de conversion;
- l'identification et la mesure des pertes de matières et d'énergie à chaque étape du traitement et de la valorisation.

Bien que le système étudié soit décentralisé, la spatialisation du processus de transport n'est pas intégrée dans l'élaboration et analyse des scénarios. Cela affecterait cependant l'évaluation des évaluations du gaz à effet de serre, de la consommation d'énergie et des coûts liés à la logistique et aux opérations pour gérer les flux de DBMNA. En d'autres termes, les distances entre chaque processus du système (réseau de la santé de l'île de Montréal) n'ont pas été considéré que ce soit d'un point de vue positif ou négatif. Cependant, certains scénarios se prêtent davantage à une décentralisation des unités de traitement que d'autres.

De plus, l'étude a rencontré un défi méthodologique lié à l'alternative de réemploi (reconditionnement), à savoir la complexité de la mise en place d'une stratégie de tarification des produits reconditionnés basée sur la rentabilité. Cette complexité est probablement renforcée par la complexification des mécanismes de transaction et de propriété ainsi que par

la diversification des pratiques de fixation de prix. Cela souligne toute la difficulté de prendre en compte les aspects économiques dans le contexte des méthodes de gestion opérationnelle des déchets biomédicaux non anatomiques, permettant ainsi une analyse plus détaillée et des solutions adaptées pour maximiser les bénéfices financiers. Ne disposant pas de données probantes ou de références documentaires pour soutenir l'hypothèse selon laquelle 80 % de la masse des DBMNA resterait fonctionnelle après le processus de reconditionnement, et ce, sans distinction de la nature des matériaux (plastique, verre ou métal), cette affirmation constitue une limitation de l'étude.

En ce qui concerne la construction d'alternatives de récupération, le choix a été arbitraire et basé sur des jugements subjectifs, notamment dans le choix de l'alternative de valorisation énergétique (gazéification). L'évaluation des critères qualitatifs a également reposé sur un jugement subjectif, étayé par une revue de la littérature. Une réflexion critique sur les incertitudes associées à ces choix pourrait être contournée par une consultation effectuée auprès des parties prenantes ou des professionnels de chacune des thématiques concernées. Les données relatives aux critères quantitatifs à l'instar du coefficient d'émission de gaz à effet de serre (GES) de l'incinération tirées de la revue documentaires d'ICF Consulting (2005), ont été extrapolées au scénario de gazéification.

4.3.2 Perspectives et recommandations

Pour les études à venir, l'intérêt serait porté à mesurer quantitativement les risques de contamination en ce qui a trait aux technologies de traitement des DBMNA et aux alternatives de gestion en fin de vie du matériel médical afin d'améliorer la perception du risque sanitaire. De ce fait, l'adaptation des procédés et processus à la valorisation des déchets biomédicaux non anatomiques constitue une avenue prometteuse.

L'idée serait de réaliser un projet pilote en coopération avec des institutions partenaires pour mesurer les flux de DBMNA au milieu hospitalier. En outre, un tel projet évaluerait la variabilité des quantités de DBMNA sur la base de données de terrain pour les différents types

d'installations hospitalières. Bien que la logistique inversée soit une option d'intérêt à explorer dans le cadre de ce projet pilote du réseau de la santé pour la gestion des DBMNA, elle comporte plusieurs enjeux, tels que l'analyse des retours, l'optimisation des traitements, l'automatisation des processus et l'externalisation des services.

Ainsi, étudier davantage les coûts associés au flux de matières, y compris les coûts associés aux aspects environnementaux des processus de traitement et valorisation serait intéressant. Cela pourrait également comprendre l'évaluation du retour sur investissement en examinant les économies générées grâce à la réduction de l'utilisation des ressources, à la réduction de la pollution et au recyclage des DBMNA. Cette évaluation pourrait influencer la rentabilité globale et la durabilité des opérations de gestion intégrée des DBMNA.

L'un des principaux défis rencontrés par la filière de traitement des DBMNA est la maîtrise du risque de contamination infectieux. Dans l'optique d'adresser cet enjeu, la mise en œuvre d'un programme de réacheminement des DBMNA dans l'optique d'initier le changement de pratiques d'acteurs serait pertinent. Ce programme prendrait en compte les facteurs suivants :

- la réglementation et les lignes directrices sur la qualité pour encadrer le projet;
- les considérations relatives au marché tel que l'offre et la demande, le développement des débouchés, de la distribution à la commercialisation intégrés dans un modèle d'affaires durable axé sur l'économie circulaire.

L'amélioration des processus de gestion opérationnelle des DBMNA dans les établissements de soins de santé requiert la synergie entre ces établissements et les entreprises spécialisées dans les filières alternatives de traitement et valorisation des DBMNA ainsi que l'orientation des investissements vers des technologies adaptées couplées à une analyse de la rentabilité sur investissement. Pour promouvoir la durabilité à long terme des scénarios de l'étude de cas, l'important serait d'évaluer leur viabilité en tenant compte de leur résilience aux changements futurs (capacité d'adaptation aux besoins et contraintes évolutifs), ainsi que de leur intégration dans des pratiques durables. Pour atteindre ce résultat, Cela nécessiterait d'intégrer les

principes de développement durable parmi lesquels l'accès au savoir. Ainsi, des consultations publiques, de même que des initiatives d'information, de sensibilisation et d'éducation, joueraient un rôle clé pour améliorer la perception des risques sanitaires et faciliter l'adhésion aux changements proposés.

Une planification régionale relative à la gestion des DBMNA pourrait être mise en place pour les établissements de santé et unités de soins qui produisent une quantité de DBMNA non négligeable. Si tel est le cas, pour les régions densément peuplées d'institutions de soins médicaux comme c'est le cas du CIUSSS du Nord-de-l'Île-de-Montréal, la centralisation des lieux de traitement peut devenir une solution, tout comme l'utilisation d'infrastructures partagées entre plusieurs CIUSSS (valorisation énergétique par gazéification).

CONCLUSION

La gestion en fin de vie du matériel médical, notamment des déchets biomédicaux non anatomiques, revêt une importance dans la gestion globale des matières résiduelles dans le secteur de la santé à l'échelle mondiale. Les déchets biomédicaux non anatomiques désignent le matériel médical composé de plastique, de verre, de métal et d'autres matériaux non organiques. Le choix d'une alternative de gestion en fin de cycle des déchets biomédicaux non anatomiques peut exercer une influence significative sur l'indice de circularité. De ce fait, pour prendre des décisions éclairées, soit pour déterminer la meilleure alternative, une approche multicritère et une évaluation exhaustive sont réalisées, englobant les aspects environnementaux, sociaux, économiques et de santé.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer des scénarios de traitement et valorisation des déchets biomédicaux non anatomiques en intégrant des pratiques circulaires et en tenant compte des risques de contamination dans le choix de la ou les meilleures alternatives de gestion en fin de vie du matériel médical au sein du réseau de la santé de l'île de Montréal. Afin d'atteindre cet objectif, des critères ont été élaborés, incluant à la fois des aspects quantitatifs et qualitatifs couvrant les aspects environnementaux, financiers, sociaux, de gestion du risque biologique. L'étude a été subdivisée en trois sous-objectifs distincts. Le premier sous-objectif visait à produire une représentation visuelle des gisements de déchets biomédicaux non anatomiques au sein du réseau de la santé de l'île de Montréal . Le deuxième sous-objectif était de réaliser une analyse des flux de matière (les entrées, les sorties et les transformations), de scénarios multifilières de traitement des déchets biomédicaux non anatomiques (DBMNA). En dernier lieu, d'évaluer la performance des scénarios de gestion des DBMNA à l'aide d'une analyse multicritère.

La dynamique de la répartition des gisements de DBMNA dans le réseau de la santé de l'île de Montréal met en évidence (sur la base de la capacité de lits autorisés au permis) que le CIUSSS du Centre-Ouest-de-l'Île-de-Montréal est le plus grand producteur de DBMNA parmi les

centres hospitaliers (CH), générant 686 t/an (36 %), grâce à ses 10 hôpitaux, incluant le Site Glen du CUSM (163 t/an). Pour les centres d'hébergement de soins de longue durée (CHSLD), le CIUSSS du Nord-de-l'Île-de-Montréal domine avec 946 t/an (28 %). En combinant les productions des CH et des CHSLD, le CIUSSS du Nord-de-l'Île-de-Montréal devient le premier producteur global de DBMNA. Le choix des stratégies de circularité s'est fait par l'adoption de solutions visant à prolonger la durée de vie des produits et offrir une nouvelle utilité aux ressources. Celles-ci se déclinent en quatre scénarios distincts : décontamination chimique-enfouissement des DBMNA, stérilisation thermique-reconditionnement des DBMNA, désinfection thermique-recyclage, et désinfection thermique et gazéification. De cette étude, l'alternative de gestion en fin de vie du matériel médical, dans le contexte de déchets biomédicaux non anatomiques intégrant des pratiques responsables et tenant compte des risques de contamination, est la désinfection-gazéification pour les scénarios environnement, financier, social et santé publique.

L'étude actuelle a souligné l'importance d'améliorer la maîtrise du risque infectieux dans les pratiques, les procédures et la politique de traitement, la valorisation et l'élimination des déchets biomédicaux tout en renforçant la performance environnementale des processus en matière de gestion des déchets à risque infectieux. L'une des principales perspectives à explorer consisterait à opérationnaliser la symbiose industrielle au sein du réseau de la santé, en s'appuyant sur des paradigmes scientifiques en lien avec la complexification des mécanismes de transaction et de propriété, ainsi qu'à la diversification des pratiques de fixation des prix des ressources secondaires (recyclage, le réemploi ou la gazéification). La démarche méthodologique et l'analyse multicritère appliquées aux données de cette étude représentent des outils structurés, transparents et reproductibles qui facilitent la prise de décision.

ANNEXE I

DONNÉES DE BASE

Tableau-A I-1 Types de plastique dans un hôpital
Adapté de Santé Synergie Environnement (s.d)

Types de plastiques	Exemples de produits	Unités de l'hôpital	% masse moyenne dans un hôpital
Plastique # 1 : Polyéthylène téréphthalate (PET)	Emballages rigides de produits médicaux, bouteilles d'eau	Imagerie médicale Bloc opératoire Service alimentaire Santé mentale	4,8 %
Plastique # 2 : Polyéthylène Haute densité (PEhd)	Containants de nettoyant et de désinfectant, containants de produits réactifs et enzymatiques, containants de lait et d'aliments, bouteilles de lotion hydratante	Pharmacie Hygiène et salubrité Laboratoires Service alimentaire Endoscopie Natalité/obstétrique Unité chirurgie Médecine générale Urgence	20,1 %
Plastique # 3 : Polychlorure de vinyle (PVC)	Tubulures, sacs de solutés, masques	Imagerie médicale Bloc opératoire Endoscopie Oncologie Natalité/obstétrique Unité chirurgie Médecine de jour Urgence Soins intensifs	15,2 %
Plastique # 4 : Polyéthylène basse Densité (Pebd)	Sacs d'épicerie, sacs ziplock, films plastiques	Laboratoires Imagerie médicale Service alimentaire	2,8 %
Plastique # 5 : Polypropylène (PP)	Champs bleus, containants alimentaires, containants d'embouts de pipettes, bouteilles de NaCl et d'eau stérile	Hémodynamie Laboratoires Imagerie médicale Bloc opératoire Stérilisation Service alimentaire Endoscopie Cliniques externes Natalité/obstétrique Santé mentale Unité chirurgie Soins intensifs	22,6 %
Plastique # 6 : Polystyrène (PS)	Emballages variés, cabarets variés, verres et vaisselles jetables, plats « à emporte » ustensiles jetables	Imagerie médicale Bloc opératoire Service alimentaire	5,7 %
Plastique # 7 : Autres variétés de résines, matériaux composites	Containants de médicaments, palettes en plastiques	Service alimentaire	0,7 %

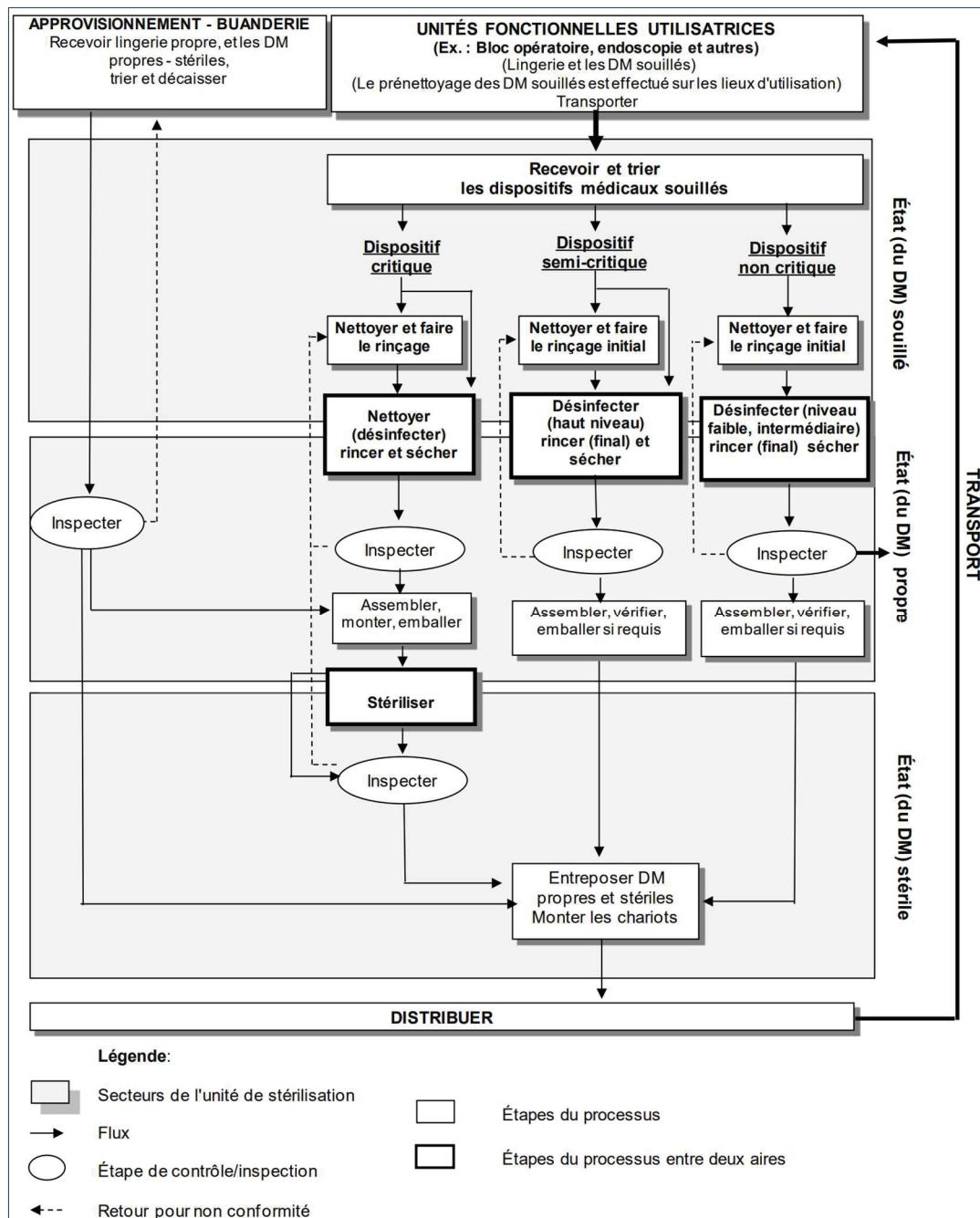


Figure-A I.1 : Processus de retraitement des matériels médicaux (circuit complet)
Tirée de Ministère de la Santé et des Services Sociaux du Québec (2011)

ANNEXE II

GÉNÉRATEURS DE DÉCHETS BIOMÉDICAUX NON ANATOMIQUES

Tableau-A II-1 : Construction des indicateurs de performances opérationnelle des filières de traitement des DBMNA

Scénario/Acteurs de décision	Objectifs de la démarche décisionnelle	Aspects significatifs et impacts réels/potentiels			Indicateurs de performance	Unités
Ministère de la santé et des Services Sociaux	Compatibilité environnementale (minimiser l'impact environnemental)	Émission (quantité de rejets solides, liquides, atmosphérique)	Air	Pollution (air)	GES	t CO ₂ e
		Eau		Pollution (eau)		
		Consommation (quantité d'eau et d'énergie utilisée ou consommée)	Énergie	Épuisement des ressources naturelles non renouvelables	Consommation d'énergie	GJ
			Eau		Consommation d'eau	m ³
	Rentabilité financière (minimiser les dépenses)	Aspect Financier			Coût total de gestion (Traitement)	\$
		Aspect Social			Coût total de gestion (valorisation/fin de cycle)	\$
Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques	Acceptabilité sociale (maximiser le confort social)	Aspect Social			Efficacité de l'inactivation microbienne	Très mauvais Mauvais Bon Très bon
		Aspect Santé publique			Conformité réglementaire et législative	oui/non
Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation	Maîtrise du risque infectieux/de contamination (minimiser le risque biologique)	Aspect Santé publique			Probabilité d'exposition à un agent infectieux après le processus de valorisation	Presque certain Hautement probable Probable Improbable Très improbable
		Aspect Santé publique			Conséquences négatives de la valorisation des DBM sur la santé humaine	Minimale Mineure Modérée Majeure Sévère

Tableau-A II-2 : Indice du prix des matières
Tiré de RECYC-QUEBEC (2022)

Matières	Quantités vendues*	Prix de vente		
		Mars 2022	Moyenne 2022	Moyenne 2021
		tonnes	\$ / tonne	\$ / tonne
PLASTIQUES				
Plastiques mélangés	700	623	460	603
Sacs et pellicules	100	5	6	-24
Péhd - Couleurs mélangées (# 2)	900	795	703	1 200
PÉT (# 1)	2 300	739	590	361
MRP ("mix rigid plastic")	100	196	188	210
FIBRES				
Papier mélangé - Mixed paper (# 54)	9 100	141	130	98
Papier bureau - Office mix (# 37)	200	337	291	200
Journaux (# 56)	7 400	173	175	150
Carton plat - non ondulé (# 4)	s.o.	n.d.	n.d.	155
Carton ondulé - OCC (# 11)	16 600	212	215	199
Carton de lait et jus	300	47	42	34
MÉTAUX				
Métaux ferreux	1 600	458	388	365
Aluminium - Canettes seulement, consignées ou non	300	2 486	2 219	1 572
Aluminium - Canettes et autres contenants et emballages	<100	1 073	933	874
Métal en vrac	800	393	337	247
VERRE				
Mélangé	6 500	-28	-29	-25

Il s'agit d'un prix brut en dollars canadiens. L'unité de mesure utilisée est la tonne métrique (1000 kg ou 2204 livres).

Tableau-A II-3 : Coûts des différentes technologies de traitement
Tiré d'Écostéryl (2023)

	Ecostéryl (procédé sec par micro-ondes)	Autoclave (procédé par vapeur chaude)	Autoclave avec broyeur	Incinérateur (processus à haute température)
ROI	Élevé	Faible	Faible	Faible
Coûts d'investissement	Intermédiaires	Faibles	Intermédiaires	Élevés
Coûts opérationnels	Faibles	Élevés	Élevés	Élevés
Frais d'entretien	Faibles	Élevés	Élevés	Élevés
Coûts salariaux	Faibles	Élevés	Élevés	Élevés

Tableau-A II-4 : Aspects sociaux des technologies de traitement
Tiré de PNUD (2010)

Technologie	Potentiel de création d'emplois	Préoccupations sociales	Notes
Autoclaves	✓✓	X	
Autoclave hybride	✓✓	X	
Systèmes de traitement à la vapeur en continu	✓✓	X	
Technologies micro-ondes par lots	✓	X	
Technologies micro-ondes continues	✓✓	X	
Systèmes de traitement thermique par friction	✓✓	X	
Systèmes de traitement thermique sec	✓	X	
Incinerateur	✓✓	XXX	Il peut y avoir une opposition communautaire aux incinérateurs dans les quartiers. Il se peut que cela ne soit pas acceptable sur le plan culturel ou religieux pour traiter des parties du corps. La communauté peut être préoccupée par les accidents et les rejets de produits chimiques.
Technologies d'hydrolyse alcaline	✓✓	XXX	
Système de traitement chimique	✓	XX	

ANNEXE III

ANALYSE MULTICRITÈRE DES SCÉNARIOS

Tableau-A III-I : Moyenne de lits occupés établie sur 3 années
(2018-19; 2019-20; 2020-21)

CIUSSS	Est-de-l'Île-de-Montréal		Ouest-de-l'Île-de-Montréal		Centre-Ouest-de-l'Île-de-Montréal		Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal		Nord-de-l'Île-de-Montréal	
	Lits dressés (lit/an)	DBM [0,3 t/lit/an] (t DBMNA/an)	Lits dressés (lit/an)	DBM [0,3 t/lit/an] (t DBMNA/an)	Lits dressés (lit/an)	DBM [0,3 t/lit/an] (t DBMNA/an)	Lits dressés (lit/an)	DBM [0,3 t/lit/an] (t DBMNA/an)	Lits dressés (lit/an)	DBM [0,3 t/lit/an] (t DBMNA/an)
HOSPITALISATION (total)	2895	862	1464	442	3533	1067	2720	822	1616	488
Soins psychiatriques										
- Unité en pédopsychiatrie	30	9,07	22	6,55	40	12	0	0	124	37,6
- Unité en psychiatrie pour adultes	450	136	345	104	172	52	118	35,8	298	90,1
- Unité en gérontopsychiatrie	48	15	125	37,8	0	0	0	0	0	0
- Psychiatre légale	373	113	33	10	0	0	0	0	0	0
Sous-total	901	272	525	158	212	64	118	35,7	423	128
Soins de Santé physique et de gériatrie										
- Médecine et désintoxication	924	279	0	0	860	260	751	227	0	0
- Chirurgie	558	169	0	16,3	399	121	111	33,4	0	0
- Soins intensifs	259	78,4	54	0	418	126	177	53,6	95	28,6
- Pédiatrie	27	8,06	0	200	359	108	0	0	0	0
- Médecine et chirurgie	67	20,2	661	0	921	278	968	292	919	277
- Unité des grands brûlés	0	0	0	18,2	0	0	14	4,33	0	0
- Gériatrie active	64	19	60	49,5	52	15,6	68	20,5	129	39
- Centre de soins à la mère et au nouveau-né	52	16	164	0	312	94,3	36	10,8	50	15,1
Sous-total	1951	590	939	284	3321	1003	2125	642	1193	360
Soins infirmiers et d'assistance en unité de réadaptation fonctionnelle intensive (CHI)										
	43	13	0	0	0	0	477	144	0	0
Sous-total	43	13	0	0	0	0	477	144	0	0
HÉBERGEMENT (permanent, ou transitoire et temporaire) (total)	6375	975	1170	354	3646	1109	6093	1841	5359	1619
Soins infirmiers aux personnes en perte d'autonomie										
- Hébergement permanent ou transitoire	6061	1832	3149	952	3594	1086	5283	1596	5178	1565
- Hébergement temporaire	235	71	61	18,4	52	15,7	45	13,7	48	14,5
Sous-total	6297	951	1082	327	3646	1109	5529	1671	5260	1589
Soins infirmiers et d'assistance en unité de réadaptation fonctionnelle intensive (CHSLD)										
	0	0	36	11	0	0	201	60,8	34	10,3
Sous-total	0	0	36	11	0	0	201	60,8	34	10,3
Unité d'hébergement et de soins de longue durée aux adultes avec diagnostic psychiatrique										
- Hébergement permanent ou transitoire	78	23,6	0	16	0	0	363	109	65	19,5
- Hébergement temporaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous-total	78	23,6	52	16	0	0	363	109	65	19,5
TOTAL		1837		796		2169		2664		1619

Figure-A III.2 Matrice multicritère du système à l'étude

Tableau-A III-3 : Performances relatives des flux sortants et entrants des alternatives

	Classement	Flux sortant F+ (%)	Flux entrant F- (%)
Profil de pondération : Environnement			
Décontamination -Enfouissement	4	38 %	62 %
Stérilisation - Reconditionnement	2	55 %	45 %
Désinfection - Recyclage	3	40 %	60 %
Désinfection -Valorisation énergétique par gazéification	1	66 %	34 %
Profil de pondération : Financier			
Décontamination -Enfouissement	4	15 %	85 %
Stérilisation - Reconditionnement	3	45 %	55 %
Désinfection - Recyclage	2	72 %	28 %
Désinfection -Valorisation énergétique par gazéification	1	78 %	22 %
Profil de pondération : Social			
Décontamination -Enfouissement	2	50 %	50 %
Stérilisation - Reconditionnement	1	56 %	44 %
Désinfection - Recyclage	3	48 %	52 %
Désinfection -Valorisation énergétique par gazéification	4	48 %	52 %
Profil de pondération : Santé publique			
Décontamination -Enfouissement	4	10 %	90 %
Stérilisation - Reconditionnement	1	81 %	19 %
Désinfection - Recyclage	3	27 %	73 %
Désinfection -Valorisation énergétique par gazéification	2	77 %	23 %

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACMTS (2015). *Le retraitement du matériel médical à usage unique : Mise à jour 2015.* (Numéro 48) Repéré à https://www.cadth.ca/sites/default/files/pdf/ES0292_SuMD_Reprocessing_fr.pdf
- AETMIS (2009). La réutilisation du matériel médical à usage unique, Rapport préparé par Geneviève Martin et Lorraine Caron en collaboration avec Alexandra Obadia. ETMIS 2009 ;5(2) :1-99. Repéré à https://www.inessss.qc.ca/fileadmin/doc/AETMIS/Rapports/Sterilisation/ETMIS2009_Vol5_No2.pdf
- Agence de santé publique du Canada (ASPC) (2010). Lignes directrices pour la prévention et le contrôle des infections transmises par les appareils souples d'endoscopie digestive et de bronchoscopie. PDF Free Download. Repéré à <https://www.phac-aspc.gc.ca/nois-sinp/guide/endo/pdf/endo-fra.pdf>
- Atlas santé Montréal (2023). *Découpages territoriaux (PDF)*. Repéré à <https://emis.santemontreal.qc.ca/outils/atlas-sante-montreal/cartes-en-pdf/dcoupages-territoriaux-pdf/>, Consulté 15 octobre 2022
- Baras, A. (2021). *Guide du cabinet de santé écoresponsable. Prendre soin de l'environnement pour la santé de chacun.* [Version Presses de l'EHESS]; Repéré à <https://www.cairn.info/guide-du-cabinet-de-sante-ecoresponsable--9782810909780.htm>
- Billau, P. (2008). *Estimation des dangers de déchets biomédicaux pour la santé et l'environnement au bénin en vue de leur gestion.* (Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC). Repéré à <https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/7045>
- Brigitte, C., & Stéphane, L. (s. d.). *Les déchets dangereux d'activités de soins Los desechos peligrosos de atencion de salud.* Repéré à http://www.alass.org/cont/priv/calass/docs/2011/Sesion_J/sesion9/01-09_sesion9_2-fr.pdf
- Buronfosse, M. (2018). *Conception d'un outil multicritères d'aide à la décision pour la valorisation des déchets industriels.* Gestion et management. [Mémoire de maîtrise, Université de Technologie de Troyes, France]. Repéré à https://theses.hal.science/tel-03596676/file/Mickael_Buronfosse_2018TROY0039.pdf

- CHARDON B. (2023) Déchets hospitaliers : typologie risques sanitaires et environnementaux traitement règlementation - PDF Free Download. Repéré à <https://docplayer.fr/18606622-Dechets-hospitaliers-typologie-risques-sanitaires-et-environnementaux-traitement-reglementation.html> Consulté 11 juin 2023.
- CICR. (2011). Manuel de gestion des déchets médicaux. (1ère éd.) [Version Comité international de la Croix-Rouge]. Repéré à <https://www.icrc.org/fr/publication/4032-manuel-de-gestion-des-dechets-medicaux>
- Coulombe, A. (2021). *Évaluation de mesures d'adaptation aux inondations avec pswmm et promethee pour un très petit bassin versant*. [Mémoire de maîtrise, ÉTS du Québec, QC]. Repéré à https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/2842/1/COULOMBE_Audrey.pdf
- CSBE (2022). Portrait de l'organisation et de la gouvernance du système de santé publique au Québec. Repéré à https://www.csbe.gouv.qc.ca/fileadmin/www/2022/Rapportfinal_Mandat/RapportAssociations/CSBE-Portrait_organisation_gouvernance_santepublique.pdf
- Dawson, M. (2022). Circular Health Care: An opportunities guide for health care organizations in B.C. Repéré à <https://bcgreencare.ca/resource/circular-health-care-opportunities-guide/>
- Dessureault, P.-L. (2019). *Analyse des impacts potentiels de trois scénarios de gestion des matières résiduelles pour l'agglomération de Québec*. (Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, QC). Repéré à <https://www.ville.quebec.qc.ca/citoyens/environnement/installations-municipales/docs/Analyse-impact-gestion-matieres-residuelles.pdf>
- DDEFP (2012). *Guide d'application du Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles*. Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/reglement/guide-application-reimr.pdf>
- DDEP (2010). Hiérarchie des modes de gestion des matières résiduelles et reconnaissance d'opérations de traitement en tant que valorisation énergétique. Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/regime-compensation/hierarchie-modesgmr.pdf>
- Dumergues, L. et al. (2014). Les filières de valorisation du CO₂. Etat de l'art et avis d'experts. Cas des activités de traitement et valorisation des déchets. [Version RECORD 12-0237/1A] Repéré à https://record-net.org/storage/etudes/12-0237-1A/rapport/Rapport_record12-0237_1A.pdf

Ecosteryl (2023). Les avantages, Quels sont les avantages d'une technologie 100% électrique ? Repéré à <https://www.ecosteryl.com/les-avantages/>

ELCCQ. (s. d.). Outil d'application – Règlement sur les déchets biomédicaux—Les définitions. Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/matières/biomedicaux/definition-dechets-biomedicaux.pdf>

Gobert, M. J. (2021). *L'impact environnemental des Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux : Comment le diminuer ?* (Diplôme d'université, Université de Montpellier, Montpellier France) Repéré à <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03619475>

Groleau, G. (2019). *Modélisation d'un procédé de gazéification pour le traitement des matières résiduelles.* (Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal). Repéré à <https://publications.polymtl.ca/3894/>

Hakizimana, G. (2005). L'enfouissement des déchets et la santé de la population. Repéré à <https://archives.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/LES-St-Thomas/documents/DB44.pdf>

Hydro-Québec (2022). *Tarifs d'électricité en vigueur le 1er avril 2022.* Repéré à <https://www.hydroquebec.com/data/documents-donnees/pdf/tarifs-electricite-2022.pdf>

INSPQ (2014). *Retraitements des dispositifs médicaux critiques.* [Version Direction des risques biologiques et de la santé au travail]. Repéré à https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/1873_retraitements_dispositifs_medicaux.pdf

Kanyinda, I. (2021). *Plan de gestion des matières résiduelles chez ABB Inc.* Repéré à https://www.researchgate.net/figure/Etapes-de-la-demarche-et-mise-en-place-de-la-procedure_fig3_359115374

Labouze, E., & Beton, A. (2008). Application de la méthode Bilan Carbone® aux activités de gestion des déchets. [Version RECORD 07-1017/1A] Repéré à https://record-net.org/storage/etudes/07-1017-1A/synthese/Synth_record07-1017_1A.pdf

Lanoie, M. (2007). *Le réemploi au QUÉBEC.* (Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC). Repéré à <https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/7277>

Loaec, P. M. (2019). *La gestion des déchets hospitaliers par les établissements de santé : Un triptyque entre enjeux environnementaux, de santé humaine et économiques.* (Mémoire de maîtrise, Université de Rennes 1, Beaulieu, France). Repéré à https://documentation.ehesp.fr/memoires/2019/master2droitdelasante/Mathilde%20LO_AEC.pdf

Loubert, A. (2022). *Évaluation de l'effet de la spatialité sur la performance environnementale du recyclage des bouteilles de PET.* (Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal, Montréal, QC). Repéré à <https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/3137/>

Mareschal, B. (2013). *Visual PROMETHEE 1.4.* Repéré à <https://bertrand.mareschal.web.ulb.be/promethee.html>

McDonnell, G., & Burke, P. (2011). Disinfection: Is it time to reconsider Spaulding? *Journal of Hospital Infection*, (p. 163-170). Repéré à <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2011.05.002>

McKeen, L. (2012). Introduction to Food Irradiation and Medical Sterilization. In *The Effect of Sterilization on Plastics and Elastomers* (p. 1-40). Repéré à <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-2598-4.00001-0>

MELCC (2022). *Déchets biomédicaux—Règlement en bref.* Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/biomedicaux/index.htm> Consulté 16 octobre 2022

MELCCFP (2023). Les déchets biomédicaux. In Gouvernement du Québec. Matières résiduelles. Repéré à <http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/biomedicaux/> consultée le 12 juillet 2023.

MELCCFP (2023). *Cahier explicatif: Le REAFIE – Gestion des matières dangereuses résiduelles et des déchets biomédicaux.* Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/lqe/autorisations/reafie/fiches/cahier-explicatif-reafie-matieres-dangereuses-residuelles-dechets-biomedicaux.pdf>

MELCCFP (s.d.). *Déchets biomédicaux—Règlement en bref.* Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/biomedicaux/index.htm> Consulté 16 octobre 2022

MELCCFP (2021). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2019 et leur évolution depuis 1990.* Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2019/inventaire1990-2019.pdf>

Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (2010). Organisation municipale Repéré à <https://www.mamh.gouv.qc.ca/>

Mouine, M. (2011). *Combinaison de deux méthodes d'analyse de sensibilité*. (Mémoire de maîtrise, Université laval, Québec, QC). Repéré à <https://www.collectionscanada.gc.ca/obj/thesescanada/vol2/QQLA/TC-QQLA-27885.pdf>

MSSSQ (2004). *M02—Établissements*. Repéré à <https://m02.pub.msss.rtss.qc.ca/M02SommLitsPlacesReg.asp?CdRss=06> Consulté 15 octobre 2022.

MSSS (2017). Le système de santé et de Services sociaux au Québec En bref. Repéré à <https://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/fichiers/2017/17-731-01WF.pdf>

MSSS (2017). *Guide de gestion des déchets du réseau de la santé et des services sociaux*. Repéré à <https://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/document-001817/>

Pépin, M. (2014). *Augmenter le taux de récupération des matières résiduelles à l'aéroport Montréal Trudeau*. (Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC). Repéré à <https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/7380>

Plamondon, P. (2014). *Allonger la vie du matériel médical à usage unique soumis au contexte des déchets biomédicaux*. (Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC). Repéré à <https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/7395>

Poirier-Parisé, C. (2017). *Processus de gestion des matières résiduelles de l'hôpital québécois de demain*. (Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC). Repéré à <https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/11397>

Polytechnique de Montréal, Montréal, QC). Repéré à <https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/3137/>

Powell, J. C. (1995). The Evaluation of Waste Management Options. *Waste Management & Research* (1996) 14, 515–526. Repéré à <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734242X96900518>

Prévil, C., Thériault, M., & Rouffignat, J. (2004). Analyse multicritère et SIG pour faciliter la concertation en aménagement du territoire : Vers une amélioration du processus décisionnel? *Cahiers de géographie du Québec*, 47(130), 35-61. Repéré à <https://doi.org/10.7202/007968ar>

Prüss, A., Emmanuel, J., Stringer, R., Pieper, U., Townend, W., Wilburn, S., Chantier, Y., & World Health Organization. (2014). *Safe management of wastes from health-care activities* / [Version Biotext] (2nd ed.). Repéré à <https://apps.who.int/iris/handle/10665/85349>

Pury, N. (2004). La gestion des risques et des déchets médicaux spéciaux en milieu hospitalier par l'étude d'un cas : L'hôpital de La Chaux-de-Fonds. *Revue économique et sociale : bulletin de la Société d'Etudes Economiques et Sociales*. 62 (2004). <https://doi.org/10.5169/SEALS-141554>

RECORD (2017). Valorisation énergétique des déchets par voie thermochimique (pyrolyse, dépolymérisation, gazéification). Retour sur les développements passés et avis d'expert. Repéré à <https://record-net.org/media/etudes/190/public/rapport/rapport-record14-0245-1a.pdf>

RECYC-QUÉBEC (2015). *Bilan 2015 de la gestion des matières résiduelles au Québec*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/bilan-gmr-2015.pdf>

RECYC-QUÉBEC (2018). Plastiques mélangés. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/Fiche-plastiques-melanges.pdf>

RECYC-QUÉBEC (2023). Guide Déchet zéro au boulot 2.0 (2 ed), *Stratégies de prévention et de gestion des matières résiduelles pour les industries, commerces et institutions (ICI)*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/guide-dechet-zero-boulot.pdf>

Remery, M. (2011). *Nouvelle méthode d'évaluation des scénarios de fin de vie pour des produits en phase de conception préliminaire*. [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. Repéré à <https://publications.polymtl.ca/539/>

Samuels, E. (2021). *Circular economy in health care. Communicating to non-experts in a persuasive way*. Repéré à https://bcgreencare.ca/wp-content/uploads/2021/12/CircularEconomyInHealthCare_Communicating_to_non-experts_in_a_persuasive_way.pdf

Sauvé, S., Normandin, D., & Macdonald, M. (2016). *Économie Circulaire—Une transition incontournable*. [Version Les Presses de l'Université de Montréal] Repéré à <https://doi.org/10.4000/books.pum.4151>

- Service de la gestion de l'information ; Direction des services régionaux de Montréal (2015). Les territoires de CIUSSS, les arrondissements de la Ville de Montréal et les villes liées. Repéré à https://emis.santemontreal.qc.ca/fileadmin/emis/Outil/Atlas/carte_pdf/decoupages/CIUSSS_Ville_2015_04.pdf
- UNEP (2012). COMPENDIUM OF TECHNOLOGIES FOR TREATMENT/DESTRUCTION OF HEALTHCARE WASTE. Repéré à <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8628>
- WHO (2014). Safe management of wastes from health-care activities, (2nd ed) [Version Biotext]., Repéré à <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789241548564> Consulté 11 juin 2023.
- World Health Organization. (2021). Classification and minimum standards for emergency medical teams. [Version World Health Organization]. Repéré à <https://extranet.who.int/emt/sites/default/files/BlueBook2021.pdf>
- Yong, Z., Gang, X., Guanxing, W., Tao, Z., & Dawei, J. (2009). Medical waste management in China: A case study of Nanjing. *Waste Management*, 29(4), 1376-1382. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.10>