

L'ANALYSE DE FLUX DE MATIÈRES AU QUÉBEC : MÉTHODES ET ENJEUX  
D'OPÉRATIONNALISATION DANS UNE PERSPECTIVE D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Par Audrey Morris

Essai présenté en vue de l'obtention du double diplôme  
Maîtrise en environnement  
Master en Ingénierie et Management de l'Environnement et du Développement Durable  
(M. Env. – IMEDD)

Sous la direction de Monsieur Manuele Margni

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE (Québec, Canada)  
UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE TROYES (France)

Janvier 2016

## SOMMAIRE

Mots clés : analyse de flux de matières, économie circulaire, métabolisme urbain, gestion durable des ressources, comptabilité de flux de matières

L'augmentation incessante de l'extraction des ressources et de la pression exercée sur l'environnement qui en découle montre que les enjeux d'une gestion durable des ressources doivent devenir une priorité. Les sociétés sont dans l'obligation de revoir la façon dont l'économie actuelle fonctionne afin de transiter vers une économie qui vise à optimiser l'utilisation des ressources. L'économie circulaire est un concept maintenant bien connu à travers le monde qui permet de répondre aux enjeux auxquels les sociétés sont actuellement confrontées.

Au Québec, la stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020 prévoit soutenir l'émergence de projets d'économie circulaire en créant les conditions favorables à la mise en place de ces pratiques et modèles d'affaires. Il est donc intéressant d'utiliser l'analyse de flux de matières au Québec, car cet outil permet de faciliter la transition vers une économie circulaire en améliorant la connaissance des gisements des ressources sur les territoires. Bien qu'il existe plusieurs méthodes d'analyse de flux de matières applicables à l'échelle régionale, aucune n'a été largement éprouvée. L'essai a donc pour objectif d'explorer les méthodes applicables dans le contexte québécois et de développer une approche qui vise à orienter les utilisateurs vers la méthode d'analyse de flux de matières qui répond le mieux à leurs besoins.

Une revue de littérature recensant 26 études régionales d'analyse de flux de matières à travers le monde a permis de distinguer dix méthodes et d'identifier deux facteurs qui influencent le choix d'une méthode par rapport à une autre. Le premier facteur correspond aux objectifs de l'analyse de flux de matières et le deuxième facteur est le niveau d'applicabilité de la méthode qui comprend l'accessibilité de celle-ci et la disponibilité des sources de données requises. Ces deux critères ont été utilisés pour comparer les dix méthodes d'analyse de flux de matières et créer un arbre de décision qui vise à orienter les ministères, les chercheurs, les acteurs publics et les acteurs privés, vers la méthode la plus appropriée.

L'essai a aussi permis de formuler des recommandations générales pour initier de façon efficace des démarches d'analyse de flux de matières au Québec. Premièrement, l'organisation d'une gouvernance régionale pour la gestion des ressources doit être une étape initiale et primordiale. Pour aider à organiser cette gouvernance, il faut d'abord développer un cadre stratégique provincial et ensuite construire des plates-formes régionales de gestion des ressources. Deuxièmement, les résultats de l'essai ont aussi montré que les données disponibles pour la réalisation d'une analyse de flux de matières étaient insuffisantes au Québec, les bases de données existantes doivent donc être bonifiées et restructurées. Troisièmement, considérant que l'analyse de flux est un processus laborieux et qui demande un travail important de réflexion en amont, il est essentiel de choisir la méthode en fonction des objectifs formulés par l'ensemble des acteurs concernés et de pérenniser la démarche dans le temps.

## **REMERCIEMENTS**

Pour commencer, j'aimerais adresser mes remerciements les plus sincères à mon directeur d'essai, Monsieur Manuele Margni, qui m'a confié avec confiance un sujet d'essai passionnant et d'actualité québécoise. La rigueur dans ses commentaires et son support lors d'importantes décisions m'ont permis d'atteindre mes objectifs.

Je tiens aussi à remercier mes collègues du CIRAIG, Gabrielle van Durme et Charles Thibodeau, qui ont su alimenter mes réflexions, structurer mes idées, et orienter mes recherches documentaires tout au long de mon essai.

Je veux aussi remercier Daniel Normandin, directeur à l'Institut de l'EDDEC, et Mélanie McDonald, coordonnatrice à l'Institut de l'EDDEC, pour leur temps, leur disponibilité et leurs judicieux conseils. Merci également à tous les collaborateurs qui m'ont généreusement alloué des entretiens. Ces discussions ont permis de guider mes réflexions.

Un gros merci à tout mes proches qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours scolaire. Merci à mes parents qui m'ont toujours encouragé dans mes études. Un merci tout spécial à ma mère qui a toujours été présente pour approuver mes choix et les réorienter en cas de besoin. Merci aussi à ma sœur et mon copain qui m'encouragent chaque jour à suivre mes rêves. Merci pour votre patience et votre bonne humeur.

Enfin, j'aimerais remercier mon ami Daniel qui a toujours cru en moi et m'a fait réaliser qu'avant tout il faut vivre la vie.

Merci à tous pour votre soutien, vos conseils et vos encouragements.

## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	1
1. MISE EN CONTEXTE.....	3
1.1. Limites du modèle économique linéaire (extraire-produire-rejeter).....	3
1.1.1. Pertes de ressources significatives au sein du système .....	4
1.1.2. Perturbation de la croissance économique .....	5
1.1.3. Les déséquilibres du système sont susceptibles d'empirer .....	6
1.2. Transition vers un modèle économique circulaire .....	6
1.2.1. Principes de l'économie circulaire .....	7
1.2.2. Intérêts de l'économie circulaire .....	8
1.2.3. Mise en œuvre de l'économie circulaire .....	8
1.3. L'analyse de flux de matières, un outil à la base de la démarche d'économie circulaire .....	9
1.3.1. Principe de l'analyse de flux de matières .....	9
1.3.2. Intérêts de l'analyse de flux de matières .....	10
1.3.3. Mise en œuvre de l'analyse de flux de matières .....	11
1.4. L'analyse de flux de matières au Québec.....	12
2. MÉTHODOLOGIE.....	14
3. L'ANALYSE DE FLUX DE MATIÈRES : MODÈLES MÉTHODOLOGIQUES.....	16
3.1. Les deux familles d'analyses de flux de matières.....	16
3.1.1. Méthode Eurostat 2001 (type descendant) .....	17
3.1.2. Méthode Baccini et Brunner 1991 (type ascendant) .....	21
3.2. Les modèles méthodologiques d'analyse de flux de matières développées à travers le monde	23
3.2.1. Méthode Eurostat 2001 adaptée à l'échelle régionale (Bourgogne) .....	25
3.2.2. Méthode Eurostat 2001 adaptée à l'échelle régionale et indicateur LEPO (Paris) .....	26
3.2.3. Méthode d'analyse du métabolisme urbain (UMAn) (Lisbonne) .....	28
3.2.4. Adaptation hybride de la méthode Eurostat 2001 et Baccini et Brunner 1991 (Bruxelles) .	30
3.2.5. Méthode « input-output » (Toronto).....	31
3.2.6. Analyse de réseau (Danemark).....	32
3.2.7. Analyse de l'émergie (Montréal) .....	33
3.2.8. Analyse de l'éco-efficacité du métabolisme urbain (Shenzhen).....	36
3.2.9. Méthode d'analyse du métabolisme urbain (Vancouver) .....	36
3.2.10. Adaptation de la méthode Baccini et Brunner 1991 (Genève) .....	37
3.3. Enseignements des expériences étrangères pour l'analyse de flux de matières au Québec .....	39
4. L'ANALYSE DE FLUX DE MATIÈRES : SOURCES DE DONNÉES POUR LE QUÉBEC.....	42
4.1. Données disponibles et stratégies pour les données manquantes .....	42
4.1.1. Biomasse .....	42

4.1.2.	Minerai métallique et non métallique .....	44
4.1.3.	Plastique .....	45
4.1.4.	Eau.....	45
4.1.5.	Énergie.....	45
4.1.6.	Émissions dans l'air .....	46
4.1.7.	Rejets dans l'eau .....	46
4.1.8.	Importations et exportations .....	47
4.1.9.	Autres flux uniquement comptabilisés dans la méthode Eurostat 2001 .....	47
4.2.	Constat sur les sources de données québécoises pour l'analyse de flux de matières .....	48
5.	L'ANALYSE DE FLUX DE MATIÈRES : CHOIX DE MÉTHODE .....	49
5.1.	Identification des critères qui influencent le choix d'une méthode d'analyse de flux de matières.....	50
5.1.1.	Cohérence avec les objectifs.....	50
5.1.2.	Applicabilité québécoise .....	50
5.2.	Séparation des méthodes en fonction des objectifs auxquels elles peuvent répondre .....	50
5.2.1.	Formulation des objectifs d'analyse de flux de matières .....	51
5.2.2.	Catégories de méthodes.....	51
5.3.	Évaluation multicritère des méthodes en fonction des critères d'applicabilité québécoise .....	52
5.3.1.	Critères d'évaluation de l'applicabilité québécoise .....	52
5.3.2.	Cotation et pondération .....	53
5.3.3.	Grille d'évaluation des méthodes d'analyse de flux de matières.....	54
5.3.4.	Résultats de l'évaluation .....	55
5.4.	Création de l'outil d'aide à la décision pour le choix de la méthode .....	56
5.4.1.	Choix du type d'outil .....	56
5.4.2.	Élaboration de l'outil .....	56
6.	RECOMMANDATIONS.....	58
6.1.	Organiser une gouvernance régionale des flux de ressources .....	58
6.1.1.	Développer un cadre stratégique provincial .....	58
6.1.2.	Construire des plates-formes régionales de gestion des ressources.....	59
6.2.	Améliorer l'applicabilité québécoise.....	61
6.2.1.	Bonifier et restructurer les bases de données existantes.....	61
6.2.2.	Développer une méthode d'analyse de flux de matières sur mesure .....	61
6.3.	Mettre en place un dispositif efficace dès le départ.....	62
6.3.1.	Choisir la méthode en fonction d'objectifs formulés par l'ensemble des acteurs .....	62
6.3.2.	Pérenniser la démarche d'analyse de flux de matières.....	63
	CONCLUSION.....	64
	RÉFÉRENCES.....	66

BIBLIOGRAPHIE.....	74
ANNEXE 1 : LISTE DES INDICATEURS UTILISES POUR INTERPRETER LES RESULTATS D'UNE ANALYSE DE FLUX DE MATIERES SELON LA METHODE EUROSTAT 2001 .....	76

## LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1.1 : Schéma simplifié du modèle économique linéaire.....	3
Figure 1.2 : Fluctuation des prix des matières premières au cours de la période 1900 à 2013 .....	5
Figure 1.3 : Principales composantes de l'économie circulaire .....	7
Figure 1.4 : Circulation des flux de matières et d'énergie sur le territoire de la Bourgogne .....	10
Figure 2.1 : Vue d'ensemble de la méthodologie employée dans l'essai .....	14
Figure 3.1 : Convention utilisée pour illustrer le métabolisme territorial dans la méthode Eurostat 2001 ..	17
Figure 3.2 : Délimitation à définir lors de la réalisation d'une analyse de flux de matières.....	19
Figure 3.3 : Principaux indicateurs utilisés en analyse de flux de matières.....	20
Figure 3.4 : Schéma d'analyse de flux de matières pour la méthode Baccini et Brunner 1991 .....	21
Figure 3.5 : Schéma d'analyse de réseau pour le système de gestion des eaux au Danemark .....	33
Figure 3.6 : Diagramme des principaux flux de matières entrants et sortants de l'Île de Montréal .....	34
Figure 3.7 : Résultats totaux de la consommation de ressources pour le Canton de Genève.....	39
Figure 5.1 : Méthodologie préconisée pour évaluer les méthodes d'analyse de flux de matières .....	49
Figure 5.2 : Arbre de décision pour choisir la méthode d'analyse de flux de matières.....	57
Figure 6.1 : Exemple d'organisation d'une plate-forme régionale de gestion des ressources.....	60
Tableau 3.1 : Classification et catégories de flux de matières .....	18
Tableau 3.2 : Exemple de procédés par type d'activité selon la méthode Baccini et Brunner 1991 .....	22
Tableau 3.3 : Revue de littérature sur les méthodes d'analyse de flux de matières régionales .....	24
Tableau 3.4 : Lacunes identifiées à la méthode Eurostat 2001 .....	28
Tableau 3.5 : Catégorisation utilisée dans la méthode UMan .....	29
Tableau 3.6 : Exemple de tableau de compilation pour la méthode d'analyse de l'énergie .....	35
Tableau 3.7 : Procédés et sous-procédés utilisés pour l'AFM du Canton de Genève.....	38
Tableau 3.8 : Comparaison des méthodes régionales d'analyse de flux de matières.....	40
Tableau 4.1 : Facteurs de conversion pour le bois à 15 % d'humidité .....	44
Tableau 5.1 : Objectifs derrière les méthodes d'analyse de flux de matières et leurs descriptions .....	51
Tableau 5.2 : Identification des objectifs par méthode d'analyse de flux de matières.....	51
Tableau 5.3 : Catégories de méthodes qui répondent aux mêmes objectifs principaux .....	52
Tableau 5.4 : Description des critères d'évaluation de l'applicabilité québécoise.....	52
Tableau 5.5 : Description du système de cotation .....	53
Tableau 5.6 : Grille d'évaluation de l'applicabilité des méthodes d'analyse de flux de matières.....	54

## LISTE DES ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AFM	Analyse de flux de matières
ANR	Agence nationale de la recherche
BTP	Bâtiment et travaux publics
CE	Communauté européenne
CMM	Communauté métropolitaine de Montréal
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
EDDEC	Environnement, développement durable et économie circulaire
ELR	Environmental loading ratio
GES	Gaz à effet de serre
HQ	Hydro-Québec
IEPA	Inventaire des émissions de polluants atmosphériques
INRP	Inventaire national des rejets de polluants
IQÉA	Inventaire québécois des émissions atmosphériques
ISQ	Institut de la statistique du Québec
LEPO	Local and exported processed output
MAMROT	Ministère des Affaires municipales et Occupation du territoire
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement de la Lutte contre les changements climatiques
MEA	<i>Millennium Ecosystem Assessment</i>
MERN	Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles
MFA	Material Flow Analysis
MFFP	Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
MOR	Matière organique résiduelle



MRC	Municipalités régionales de comté
NACE	Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté Européenne
NU	Nations unies
OCDE	Organisation de coopération et de développement économique
OEE	Office de l'efficacité énergétique
PIB	Produit intérieur brut
SAAQ	Société de l'assurance automobile du Québec
SCOT	Schéma de cohérence territoriale
SERI	<i>Sustainable Europe Research Institute</i>
SOeS	Service de l'observation et des statistiques
UE	Union européenne
UMAn	Analyse de métabolisme urbain
WU	University of Economics and Business

## LEXIQUE

Analyse de flux de matières	Un outil qui quantifie les flux de matières qui traversent un territoire bien défini en termes de masse à un temps donné. L'analyse de cette quantification permet de caractériser le système du point de vue de ses besoins matériels, de ses échanges avec les autres systèmes, de ses impacts environnementaux, etc. (France. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE), 2014)
Économie circulaire	Un modèle économique innovant qui vise à optimiser la façon dont les ressources sont utilisées en adoptant une pensée réparatrice et régénératrice lors de la conception de produits et de services. (Ellen MacArthur Foundation, 2015b)
Économie linéaire	Un modèle économique utilisé depuis la révolution industrielle qui vise à extraire des ressources, les transformer, les utiliser et les rejeter en fin de vie sans penser à comment réduire la quantité de ressources qui entrent dans le système et la quantité de déchets qui en sort. (Ellen MacArthur Foundation, 2015b)
Écoconception	Un concept de l'économie circulaire qui consiste à intégrer la protection de l'environnement dès la conception des biens ou services. Elle a pour objectif de réduire les impacts environnementaux des produits tout au long de leur cycle de vie. (France. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE), 2011)
Écologie industrielle et territoriale	Un concept de l'économie circulaire qui vise à boucler les flux de matières et d'énergie dans l'industrie. Il se base sur l'analyse des flux de matière et cherche à avoir une approche globale du système industriel en le représentant comme un écosystème (Organisation pour le Respect de l'Environnement dans l'Entreprise (ORÉE), 2008)
Approche ascendante	Cette approche analytique est dite « bottom-up » où l'on part du détail, du « bas », c'est-à-dire l'échelon le plus fin, pour consolider progressivement et opérer une synthèse. (France. MEDDE, 2014)

Approche descendante	Cette approche analytique est dite « top-down » où, partant de l'ensemble, on décompose en éléments toujours plus détaillés, pour déboucher sur une « dissection totale », un état des lieux de l'objet étudié. (France. MEDDE, 2014)
Émergie	La quantité totale d'énergie incorporée dans un bien ou un service rapportée à l'énergie fournie par le soleil. L'émergie s'exprime en « solar energy joules » (sej). (Odum, 1996)
Transformité	La transformité s'exprime en seJ/J ou seJ/g ou seJ/\$, ainsi elle représente la quantité d'émergie nécessaire pour produire une joule (ou un gramme ou un dollar) d'un certain bien ou service. (Odum, 1996)
Système socio-économique	Il est borné dans l'espace par les limites administratives du territoire considéré. Il contient la population humaine, ses activités, ses productions et ses artefacts. Il exclut les composantes naturelles du territoire comme l'eau, l'air et le sol. (France. MEDDE, 2014)

## INTRODUCTION

Depuis la révolution industrielle, les sociétés ont adopté un modèle de développement économique linéaire qui consiste à prélever des ressources dans la nature, les transformer, les consommer, puis les jeter comme si les ressources naturelles étaient infinies et que les capacités de la biosphère à absorber ces rejets étaient illimitées (Alterre Bourgogne, 2013). Or, la liste des problèmes environnementaux provoqués par cette organisation linéaire des activités économiques ne fait qu'augmenter (France. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE), 2014). Il est vrai que la prise de conscience collective a permis de mettre en place des stratégies de réduction des impacts environnementaux associées à l'utilisation du modèle linéaire, mais ces stratégies ne feront que retarder l'échéance (Institut de l'économie circulaire, 2013). L'adoption d'un nouveau modèle s'impose. La transition vers un modèle d'économie circulaire permettrait de mieux répondre aux enjeux du développement durable tout en créant de la valeur d'un point de vue économique, social et environnemental (Ellen MacArthur Foundation, 2015a). À l'inverse du modèle linéaire, le modèle circulaire vise à boucler les flux de matières pour diminuer la quantité de ressources qui entre dans une économie et la quantité de déchets qui en sort (Institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire (EDDEC), 2015). Le modèle d'économie circulaire vise donc à découpler la croissance économique et la consommation des ressources par l'utilisation d'une série de concepts innovants qui permettent d'optimiser la façon dont les ressources sont utilisées tout au long du cycle de leur vie (Institut EDDEC, 2015).

Pour réduire le besoin en matière des sociétés, il faut au préalable mieux connaître la consommation de matières et d'énergie qu'elles engendrent (France. MEDDE, 2014). Pour cela, l'analyse de flux de matières (AFM) peut être utilisée. Cette approche vise à comprendre la manière dont un territoire prélève, importe, transforme, consomme, rejette et exporte l'énergie et les matières (Baccini et Brunner, 1991). Plus souvent utilisée dans le passé à l'échelle nationale, l'AFM devient aujourd'hui un outil de plus en plus employé dans les villes et les régions (Kennedy et autres, 2010). En effet, les municipalités et les municipalités régionales de comté (MRC) représentent un niveau de gouvernance pertinent pour instaurer des démarches d'AFM parce que celles-ci possèdent des compétences qui leur permettent de mettre en œuvre des projets qui se rattachent à l'économie circulaire. En plus de leur pouvoir d'action, les régions possèdent le pouvoir de mobiliser et d'accompagner les acteurs concernés du territoire. Au Québec, la stratégie gouvernementale pour le développement durable 2015-2020 vise à encourager les projets d'économie circulaire en créant les conditions qui facilitent leur émergence (Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2015a). Par conséquent, la mise en œuvre de démarches d'AFM au Québec semble être une avenue prometteuse. Toutefois, le choix d'une méthode d'AFM pour le Québec n'est pas chose facile, car il n'existe pas de méthode largement éprouvée qui s'applique à l'échelle régionale. En vérité, il existe deux grandes lignées de pensées dans les méthodes d'AFM : la méthode Eurostat 2001 et la méthode de Baccini et Brunner 1991 (Eurostat, 2001 et Baccini et Brunner, 1991). Depuis la création de ces deux

grandes méthodes, plusieurs villes et régions à travers le monde ont tenté de les adapter dans le but de les appliquer à l'échelle régionale. Il existe donc aujourd'hui une grande variété de méthodes d'AFM régionales qui découlent des deux grandes lignées de pensées, comportant chacune leurs conditions d'application, leurs avantages et leurs limites.

L'essai a donc pour objectif d'explorer les méthodes applicables dans le contexte québécois et de développer une approche qui vise à orienter les utilisateurs vers la méthode d'AFM qui répond le mieux à leurs besoins. Pour ce faire, une revue de littérature sur les méthodes d'AFM applicables à l'échelle régionale a d'abord été réalisée. Ensuite, les bases de données fédérales, provinciales et régionales ont été explorées pour établir un constat sur les sources de données disponibles au Québec pour réaliser les AFM. Enfin, les méthodes d'AFM existantes ont été évaluées en fonction de plusieurs critères et un outil d'aide à la décision pour les utilisateurs d'AFM au Québec a été développé.

Pour assurer une recherche d'informations diversifiées et fiables, une revue de littérature composée de nombreux articles scientifiques, de publications gouvernementales, de monographies et de ressources Internet a été réalisée. De plus, pour compléter la collecte d'information et alimenter les réflexions, l'auteur de cet essai a aussi réalisé plusieurs entrevues et échanges de courriels avec des professionnels et des chercheurs spécialisés en AFM et en économie circulaire. Finalement, pour s'assurer de la fiabilité des sources, une attention particulière a été portée pour que la majorité des références consultées soient récentes et vérifiées par les pairs.

Le travail qui en découle commence par une mise en contexte. Ce premier chapitre explique pourquoi il est impératif que les sociétés québécoises transitent vers un modèle d'économie circulaire et comment l'AFM peut être utilisée pour faciliter cette transition. Le second chapitre présente les objectifs de l'essai et la méthodologie qui a été développée pour réaliser ce travail. Par la suite, le chapitre 3 présente un court historique de l'AFM et montre les résultats de la revue de littérature portant sur les études régionales d'AFM à travers le monde. Ainsi, les éléments méthodologiques, les objectifs, les données requises, les avantages et les limites de chacune des méthodes d'AFM sont présentés. Au chapitre 4, les différentes sources de données disponibles au Québec pour faire des AFM sont mentionnées. Les conclusions tirées du chapitre 3 et 4 seront utilisées au chapitre 5 pour expliquer l'évaluation multicritère des méthodes. C'est dans ce même chapitre que l'approche développée visant à orienter les utilisateurs vers la méthode d'AFM la plus appropriée est présentée. Enfin, le chapitre 6 présentera les recommandations formulées pour initier de façon efficace des démarches d'AFM au Québec.

## 1. MISE EN CONTEXTE

Aujourd'hui, la raréfaction des ressources devient un problème de plus en plus préoccupant causant non seulement l'augmentation des prix des matières premières, mais aussi d'importantes conséquences environnementales et des tensions géopolitiques (Alterre Bourgogne, 2013). Les sociétés doivent repenser leur modèle économique si elles veulent être en mesure de soutenir les activités humaines dans le futur. Pour ce faire, elles doivent préalablement observer la manière dont les ressources sont gérées sur leur territoire (Barles, 2007). L'AFM est un outil qui permet d'identifier les ressources utilisées par un territoire, de les quantifier et de comprendre comment elles sont utilisées (Eurostat, 2001). Le chapitre qui suit vise d'abord à expliquer les limites du modèle économique actuel et comment il est possible de transiter vers un nouveau modèle économique plus durable. Ensuite, il vise à expliquer ce qu'est l'AFM et pourquoi il est pertinent d'appliquer cette démarche dans les régions québécoises.

### 1.1. Limites du modèle économique linéaire (extraire-produire-rejeter)

Depuis la révolution industrielle, le modèle de production et de consommation qui prévaut dépend de ressources abondantes et engendre d'importantes quantités de déchets. Ce modèle économique est dit « linéaire », c'est-à-dire qu'il suit le schéma présenté à la figure 1.1.

*Extraction de matières premières → Production → Consommation → Déchets.*

**Figure 1.1 : Schéma simplifié du modèle économique linéaire** (inspirée de Institut de l'économie circulaire, 2013)

En effet, les entreprises importent des matières, les utilisent pour faire des produits et vendent ces produits à des consommateurs qui les disposent lorsque ceux-ci ne s'avèrent plus utiles. Ce phénomène est de plus en plus important, car en terme de volume, plus de 65 billions de tonnes de matières brutes sont entrées dans le système économique mondial en 2010 et les prévisions prévoient que ce chiffre pourrait atteindre environ 82 billions de tonnes en 2020 (Ellen MacArthur Foundation, 2015b).

Il est vrai que ce modèle de développement a permis d'accélérer le « progrès » et à des milliards d'individus d'accéder à une certaine prospérité matérielle, mais le fondement de cette société de consommation se trouve aujourd'hui face aux défis environnementaux, de l'emploi et de l'augmentation de la population mondiale. Le prélèvement sur les ressources naturelles dépasse déjà largement la biocapacité de la terre, c'est-à-dire sa capacité à régénérer des ressources renouvelables, à fournir des ressources non renouvelables et à absorber les déchets. De plus, avec la croissance démographique et la croissance économique des pays en voie en développement, même les prévisions les plus conservatrices suggèrent que les demandes en pétrole, charbon, minerai de fer et autres ressources vont augmenter de plus du tiers de la demande actuelle (McKinsey Global Institute, 2011). Aujourd'hui, il est possible d'affirmer que le modèle économique linéaire ne peut plus répondre aux enjeux rencontrés par les sociétés. Les limites naturelles de la Planète obligent donc les sociétés à revoir leurs modes de fonctionnement.

### **1.1.1. Pertes de ressources significatives au sein du système**

Le modèle de production linéaire entraîne des pertes importantes de ressources. Ces pertes peuvent survenir pour de multiples raisons : pertes dans la chaîne de production, pertes en fin de vie, pertes sous forme d'énergie et dégradation des services écosystémiques (Ellen MacArthur Foundation, 2015b).

Les faibles coûts des ressources comparativement aux coûts de la main-d'œuvre sont responsables des pertes rencontrées dans les chaînes de production. Les entreprises ne mettent pas en priorité l'efficacité avec laquelle les ressources sont utilisées, car il a toujours été plus rentable d'utiliser de nouvelles ressources que d'investir du temps à réfléchir à comment optimiser l'usage de celles-ci. Par conséquent, des pertes considérables sont causées entre la quantité de matières extraites jusqu'à leur fabrication finale. En effet, le Sustainable Europe Research Institute (SERI) estime que chaque année, la fabrication de produits dans les pays de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) consomme plus de 21 billions de tonnes de matières qui ne sont pas physiquement incorporées dans les produits eux-mêmes (Sustainable Europe Research Institute (SERI) et Vienna University of Economics and Business (WU), 2014). De plus, des pertes énormes sont engendrées lors de la chaîne de production alimentaire. Ces pertes sont estimées à plus du tiers de la quantité de nourriture produite pour la consommation humaine chaque année (Gustavsson et autres, 2011).

Les pertes de ressources en fin de vie sont dues aux faibles taux de réutilisation, recyclage ou compostage et méthanisation des produits en fin de chaîne. En effet, en 2010, en Europe, 2,7 billions de tonnes de déchets ont été générées, mais seulement 40 % ont été réutilisées, recyclées ou compostées et méthanisées (Ellen MacArthur Foundation, 2015a). Les taux de recyclage qui sont significativement importants le sont seulement pour quelques types de matières qui sont dans la plupart des cas des matières qui se trouvent dans des volumes importants et relativement homogènes. De plus, plusieurs produits ne sont pas conçus pour être désassemblés et il est donc difficile de recycler chaque matière dans la filière appropriée en fin de vie.

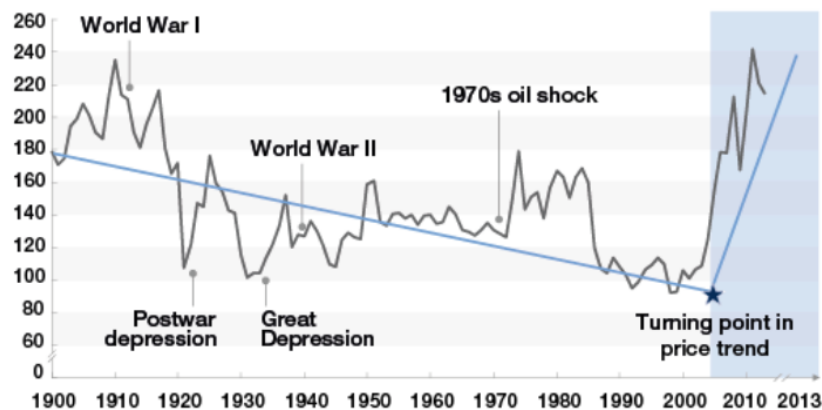
Le système linéaire entraîne une extraction et une transformation de matières de plus en plus importante. Lorsqu'un produit est réutilisé, des gains énergétiques importants sont à considérer et lorsqu'un produit est recyclé, une petite quantité d'énergie est sauvée. Il existe plusieurs opportunités pour économiser de l'énergie par l'adoption d'une économie circulaire (McKinsey Global Institute, 2011).

La dégradation des services écosystémiques est un phénomène très préoccupant qui prend de plus en plus d'ampleur. En effet, le rapport « Millennium Ecosystem Assessment » (MEA) mentionne que parmi les 24 services écologiques que la Planète fournit, 15 sont dégradés ou utilisés de façon non durable (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). De plus, un récent rapport sur l'économie des écosystèmes et de la biodiversité évalue les pertes des services écosystémiques dues à la déforestation en Chine à plus de 12 billions de dollars américains par année au cours de la période 1950 à 1998 (Bishop et autres, 2010). Les coûts de ces pertes de services écosystémiques correspondent aux frais de régulation du

climat et de l'eau, l'épuisement des réserves de bois et de carburants, les pertes de productivité agricole, la conservation des sols et la prévention des inondations (Bishop et autres, 2010).

### 1.1.2. Perturbation de la croissance économique

Aujourd'hui, le modèle linéaire mène à un ralentissement économique dans certains pays. En effet, la croissance économique peut être perturbée par l'augmentation du prix des matières premières. Depuis les années 2000, un tournant considérable a été remarqué dans le prix de ces matières. La figure 1.2 présente la fluctuation de ces prix au cours de la période 1900 à 2013. Pour obtenir un prix représentatif de l'ensemble des matières, une moyenne a été calculée en considérant les quatre catégories de matières suivantes : nourriture, produits agricoles (excluant la nourriture), métaux et énergie (World Economic Forum, s.d.).



**Figure 1.2 : Fluctuation des prix des matières premières au cours de la période 1900 à 2013** (tirée de World Economic Forum, s.d.)

Cette augmentation des prix des matières est causée par plusieurs facteurs. Premièrement, la forte augmentation de la demande en métaux a forcé les entreprises d'extraction à produire plus que leur mode de production optimal. Par conséquent, le coût pour produire une petite quantité de plus de matière leur est plus grand et les prix se trouvent donc augmentés. Le marché se trouve alors très instable, car de petites augmentations de la demande peuvent résulter à une augmentation considérable des prix des matières. Deuxièmement, étant donné l'épuisement de certaines ressources, il devient de moins en moins facile d'extraire de grandes quantités de matières par les entreprises. Le recours à de nouvelles technologies et à des quantités plus grandes d'énergie devient indispensable aux entreprises ce qui entraîne une augmentation des prix des matières premières. Troisièmement, les conditions météorologiques ainsi que les crises politiques peuvent entraîner des fluctuations dans l'offre de certaines matières. Quatrièmement, la présence d'une quantité de plus en plus importante de nouveaux investisseurs dans le marché combinée avec les médias sociaux entraîne des « effets de modes » dans le domaine de l'investissement dans les ressources qui mène à des fluctuations du marché. Enfin, toutes



ces causes mènent à l'augmentation des prix des matières qui provoque un ralentissement économique des entreprises et éventuellement un ralentissement de l'économie en général. Ces effets se manifestent de deux manières principales : par l'augmentation des coûts d'approvisionnement en matières premières et par l'augmentation des coûts de couverture de risque. (Ellen MacArthur Foundation, 2015a)

### **1.1.3. Les déséquilibres du système sont susceptibles d'empirer**

Les déséquilibres tels que l'augmentation des prix des ressources et l'instabilité des approvisionnements rencontrés dans le modèle linéaire sont susceptibles d'empirer dans les années à venir. Sans conteste, l'accroissement de la population mondiale, estimée à atteindre plus de 11 billions en 2100, contribue à augmenter le nombre de consommateurs sur la Planète et par le fait même, la quantité de ressources nécessaires (Department of Economics and Social Affairs, 2015). Les estimations prévoient aussi qu'avec la croissance économique importante de la Chine et de l'Inde, les deux pays les plus peuplés, il pourrait y avoir l'arrivée de trois billions de plus de consommateurs dans la classe moyenne d'ici 2030 (McKinsey Global Institute, 2011).

En plus de la croissance démographique, la hausse des besoins en infrastructure est de plus en plus déterminante. D'une part, pour répondre aux besoins de la population croissante et d'autre part, pour répondre aux besoins des entreprises qui nécessitent de nouvelles infrastructures technologiques pour extraire les ressources plus difficilement accessibles (McKinsey Global Institute, 2011). Par conséquent, plus il y a de ressources à extraire, plus il y a d'infrastructures à construire, plus il y a de ressources à extraire, et ce cercle vicieux peut continuer jusqu'à l'épuisement complet des ressources et la dégradation des services écosystémiques.

Le modèle linéaire a aussi provoqué dans la plupart des pays, une forte dépendance aux approvisionnements extérieurs en ressources. Cette dépendance représente un risque important dans un système où les activités socio-économiques reposent entièrement sur l'importation de ressources, car plusieurs facteurs peuvent nuire à ces importations. D'abord, les risques politiques grandissants peuvent contribuer à amplifier l'instabilité dans les approvisionnements. Ensuite, la globalisation des marchés, où les ressources sont transportées à l'échelle mondiale, signifie que des variations locales de prix des ressources peuvent rapidement influencer le prix des matières à l'échelle mondiale. Enfin, les variations dans le climat peuvent aussi mener à une amplification des déséquilibres rencontrés dans le modèle linéaire. Les industries qui extraient des ressources peuvent faire face à des variations régionales de climat qui entraînent l'instabilité dans les prix et les approvisionnements. Actuellement, les ressources les plus souvent affectées sont les produits agricoles et l'eau. (Ellen MacArthur Foundation, 2015a)

## **1.2. Transition vers un modèle économique circulaire**

Compte tenu des limites du modèle linéaire présentées précédemment, l'adoption d'un nouveau modèle s'impose. Il est vrai que la prise de conscience collective a permis de mettre en place des stratégies de réduction des impacts environnementaux associés à l'utilisation du modèle linéaire, mais ces stratégies

ne feront que retarder l'échéance. Ainsi, il est important de repenser les façons de faire et d'adopter un nouveau modèle de développement. La transition vers un modèle d'économie circulaire permettrait de mieux répondre aux enjeux du développement durable des sociétés en créant de la valeur autant d'un point de vue économique que social et environnemental.

### 1.2.1. Principes de l'économie circulaire

Le modèle d'économie circulaire vise à découpler la croissance économique et la consommation des ressources. Pour ce faire, elle propose une série de concepts innovants qui permettent d'optimiser la façon dont les ressources sont utilisées tout au long du cycle de leur vie. À l'inverse du modèle linéaire, le modèle circulaire vise à boucler les flux de matières dans le but de diminuer la quantité de ressources qui entrent dans une économie et la quantité de déchets qui en sortent. La figure 1.3 présente les composantes principales de l'économie circulaire : les stratégies pour détourner les déchets des sites d'enfouissements (en bas), la sensibilisation, formation et mobilisation des acteurs du territoire (à gauche) et les outils qui peuvent aider à la mise en œuvre de l'économie circulaire (à droite) (Institut EDDEC, 2015).



**Figure 1.3 : Principales composantes de l'économie circulaire** (tirée de Institut EDDEC, 2015)

Les concepts innovants derrière l'économie circulaire sont les suivants : l'écoconception, l'approvisionnement durable, l'économie de fonctionnalité, l'écologie industrielle et territoriale, la consommation durable, l'allongement de la durée de vie des produits et le recyclage des déchets. L'écoconception consiste à concevoir des produits ou des services dans le but de diminuer leurs impacts

sur l'environnement à toutes les étapes de leur cycle de vie et donc de penser à comment les produits pourront être réemployés, recyclés ou valorisés en fin de vie. L'économie de fonctionnalité vise à repenser le modèle d'affaire des entreprises en transitant d'une économie de vente de produits à une économie de vente de services. De cette façon, il est possible pour les entreprises de récupérer les produits en fin de vie, de réutiliser les pièces qui fonctionnent encore et de recycler ou valoriser les autres. L'écologie industrielle et territoriale est un concept innovant qui permet de créer un réseau d'acteurs qui peuvent se partager des ressources et de l'énergie sur un territoire donné. Par exemple, une entreprise qui rejette de la vapeur d'eau dans le cadre de ces activités pourrait acheminer ce « déchet » à une autre entreprise qui nécessite de la vapeur d'eau comme « ressource » pour ses activités. Par conséquent, les déchets de l'un deviennent les ressources de l'autre.

### **1.2.2. Intérêts de l'économie circulaire**

L'économie circulaire est vectrice de nombreuses solutions aux enjeux économiques, sociaux et environnementaux actuels. Dans un premier temps, plusieurs études montrent que le modèle circulaire peut contribuer à lutter contre le dérèglement climatique (Aurez et autres, 2015). Dans un deuxième temps, l'économie circulaire représente un potentiel de création d'emplois qui a été démontré par plusieurs études prospectives à travers le monde (Deboutière et Georgeault, 2015). Dans un troisième temps, une étude anglaise récente conduite par Green Alliance et le WRAP au Royaume-Uni a récemment démontré que la transition vers un modèle d'économie circulaire permet de redynamiser les territoires (Morgan et Mitchell, 2015). En vérité, le modèle circulaire permet de créer de nouvelles activités économiques et des emplois, et ce de façon très importante dans les zones les plus touchées par le chômage (Morgan et Mitchell, 2015). Dans le même ordre d'idées, réduire la dépendance d'un territoire vis-à-vis les approvisionnements en matières premières permet de renforcer la résilience de son économie (Ellen MacArthur Foundation et McKinsey Institute, 2015). Dans un quatrième temps, l'économie circulaire peut contribuer à améliorer la sécurité alimentaire des populations en réduisant le gaspillage et la dépendance des territoires vis-à-vis les approvisionnements lointains (Badgley et autres, 2006). En somme, l'économie circulaire est profitable à tous les acteurs. Les entreprises se trouvent avantagées par la création de nouveaux groupes de profits et l'opportunité de prendre de l'expansion en modifiant leur modèle économique de départ. Les consommateurs et les utilisateurs tirent bénéfice par l'amélioration de la qualité des services. L'économie se trouve aussi avantagée par l'atténuation de l'instabilité du marché et des risques d'approvisionnement, la croissance du marché due aux changements sectoriels et à la création d'emplois, la réduction des externalités et l'épargne de sommes substantielles sur les coûts en matières et énergie (Ellen MacArthur Foundation, 2015a).

### **1.2.3. Mise en œuvre de l'économie circulaire**

À l'heure actuelle, il n'existe pas de mode d'emploi standardisé sur la façon d'engager une transition vers l'économie circulaire. Or, plusieurs organisations se penchent sur cette question et tentent d'élaborer des stratégies collectives de mise en œuvre. Plusieurs éléments pour faciliter la mise en œuvre de projets

d'économie circulaire sont tout de même bien connus. Parmi ces éléments se trouve l'application de l'économie circulaire à l'échelle régionale et territoriale. En effet, il est plus facile de mettre en place des projets d'économie circulaire à l'échelle d'un territoire parce que les territoires sont confrontés à des contraintes qui leur sont propres et les projets doivent être élaborés dans le but de répondre à leur réalité unique (Lévy et Auez, 2015). La sensibilisation, la formation et la mobilisation des acteurs concernés peuvent aussi grandement faciliter l'engagement vers une démarche d'économie circulaire. Il a souvent été démontré dans les études de cas comme Dislaub, Eurovia et Neopost en France que la mobilisation des acteurs était un facteur de réussite indispensable (Auez et autres, 2015). Enfin, l'engagement vers des projets d'économie circulaire est souvent ralenti par le fait que le terme « déchet » est souvent mal perçu dans les sociétés, c'est-à-dire qu'il représente une chose non désirée qui doit être éliminée. Il faut donc tranquillement faire évoluer le statut de déchet pour être en mesure que les gens le perçoivent comme une matière résiduelle contenant encore de la valeur (Enckell et Carré, 2015).

Étant donné que l'objectif majeur de l'économie circulaire est d'optimiser les flux d'énergie et de matières pour rendre plus efficace l'utilisation des ressources sur un territoire donné, il est important de mieux comprendre au préalable la circulation de ces flux d'énergie et de matières dans le territoire. Par conséquent, il serait important d'améliorer la connaissance des gisements de matières et d'énergies des territoires pour élaborer des stratégies régionales d'économie circulaire. L'analyse de flux de matières (AFM) est un outil qui permet d'effectuer cet état de lieux et de justifier les prises de décision politiques (France. MEDDE, 2014). L'AFM constitue donc un premier pas vers l'adoption d'une économie circulaire.

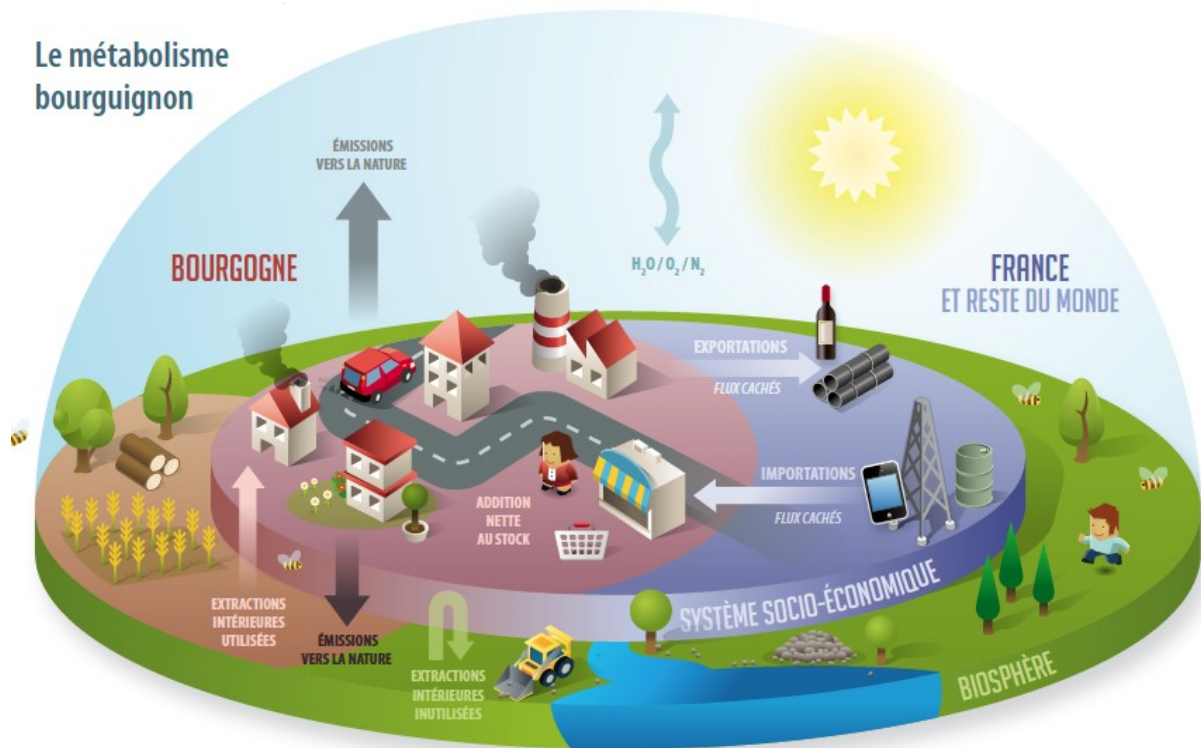
### **1.3. L'analyse de flux de matières, un outil à la base de la démarche d'économie circulaire**

Parfois appelé « comptabilité de flux de matières », parfois « métabolisme urbain » et parfois « métabolisme territorial », l'AFM est un outil qui permet d'effectuer un diagnostic sur la gestion des ressources sur un territoire donné à un temps donné (Baccini et Brunner, 1991). Les dimensions du territoire étudié sont très variables pouvant s'appliquer à l'échelle d'un pays, d'une région, d'une ville, etc. L'important est de bien définir les limites du système socio-économique à l'étude. L'outil d'AFM existe depuis les années 1960 et servait à l'époque à constater le manque d'autosuffisance en matière des régions urbaines. Aujourd'hui, étant donné l'épuisement inévitable des ressources dans un modèle d'économie linéaire, l'AFM est de plus en plus utilisée. Les pays et les régions urbaines désirent comprendre comment les ressources circulent sur leur territoire afin de prendre des décisions politiques plus éclairées (Kennedy et autres, 2010). Dans ce sous-chapitre, le principe, les intérêts et les éléments de mise en œuvre d'une AFM seront présentés.

#### **1.3.1. Principe de l'analyse de flux de matières**

La réalisation d'une comptabilité de flux de matières consiste à quantifier tous les flux de matières et d'énergie qui traversent un territoire. Dans ce cas, tous les flux qui entrent sur le territoire tels que les importations et les extractions locales ainsi que tous les flux qui sortent du territoire tels que les

exportations et les rejets vers la nature sont inventoriés. Cet inventaire contient toutes les catégories de matières utiles au territoire et chaque matière est quantifiée en tonne. De plus, la caractérisation de ce métabolisme territorial repose sur le principe de la conservation de la masse d'Antoine Lavoisier, « *Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme* » (Brunner et Rechberger, 2004). Pour respecter ce principe, le bilan doit être équilibré de part et d'autre. Par conséquent, la différence entre la quantité de matière qui sort du territoire et la quantité qui entre sur le territoire correspond à l'accumulation nette de matières dans le territoire. Ces accumulations sont souvent nommées « stock » et représentent les bâtiments, les infrastructures, les véhicules, etc. La figure 1.4 illustre le fonctionnement d'un territoire et la circulation des différents flux de matières et d'énergie sur celui-ci (Alterre Bourgogne, 2013). Le socle central représente le système socio-économique d'un territoire qui est alimenté par des échanges économiques avec le reste du monde (importation et exportation). Ce système qui représente la société repose sur un deuxième socle qui représente la biosphère dans laquelle la société vient puiser et rejeter pour fonctionner (extractions intérieures et émissions vers la nature).



**Figure 1.4 : Circulation des flux de matières et d'énergie sur le territoire de la Bourgogne** (tirée de Alterre Bourgogne, 2014, p. 1)

### 1.3.2. Intérêts de l'analyse de flux de matières

Il est vrai qu'il existe différentes méthodes qui permettent d'étudier les flux de matières et d'énergie, mais la plupart de ces approches visent des flux spécifiques (eau, énergie, déchets, etc.) et isolent différents secteurs (habitat, transport, industrie, agriculture, etc.). D'ailleurs, ces méthodes mènent à des réponses de « bout de tuyau » ou « end-of-pipe », c'est-à-dire qu'elles atténuent les effets, mais n'éliminent pas les

causes. À l'inverse, l'AFM est une approche systémique qui permet de prendre en compte tous les types de flux et comment ils interagissent ensemble. De cette façon, l'AFM apporte un atout considérable qui permet d'avoir une vision d'ensemble du métabolisme d'un territoire. Par ailleurs, l'AFM est un outil puissant qui permet d'éclairer les décisions politiques autant d'un point de vue national, régional qu'urbain. Il permet de poser un jugement sur la durabilité d'un territoire et ainsi mieux cibler les politiques et stratégies environnementales à développer. Enfin, l'AFM est une approche grandement utilisée à travers le monde si bien qu'il est parfois possible de comparer les résultats obtenus avec d'autres études et d'évaluer où se situe un territoire en terme de gestion des ressources par rapport à un autre. (France. MEDDE, 2014)

Même si l'application de l'AFM à l'échelle nationale a fait ses preuves, il est avantageux d'effectuer des analyses sur de plus petits territoires pour mieux comprendre la consommation de matières à l'intérieur d'un pays afin de trouver des solutions pour réduire cette consommation et optimiser la gestion des ressources. De plus, les villes sont porteuses de compétences environnementales importantes telles que la gestion des déchets et la gestion des eaux usées. Les régions ont d'ailleurs la responsabilité de développer des politiques et stratégies pour répondre aux enjeux environnementaux auxquels elles sont confrontées. À l'heure actuelle, les stratégies développées par les territoires demeurent sectorielles et mènent à des réponses de « bout-de-tuyau », c'est-à-dire que la cause du problème n'est pas éliminée. La réalisation d'AFM à l'échelle des villes et des régions permettrait d'adopter une approche systémique qui pourrait contribuer à rendre plus performantes les stratégies développées. Tout cela considéré, les villes représentent un réel potentiel pour favoriser la mise en place de stratégies tels que des projets d'économie circulaire.

En addition, la mise en place de ces projets d'économie circulaire s'effectue de façon beaucoup plus efficace lorsque ceux-ci sont déployés à l'échelle d'une région. En effet, chaque territoire possède ses propres particularités quant à l'atteinte d'un développement économique durable et il est nécessaire de bien les identifier avant de pouvoir penser à les résoudre. De plus, la proximité des acteurs entre eux sur le territoire et l'établissement d'une vision partagée de la consommation des ressources participe à faciliter le déploiement de ces projets.

L'amélioration des connaissances concernant la consommation de matières sur un territoire est à la base de toute politique et stratégie publique de gestion des ressources. Le développement de cette stratégie permettrait non seulement de diminuer la consommation en énergie et en matières, mais garantirait une aussi meilleure résilience des territoires (Barles, 2009).

### **1.3.3. Mise en œuvre de l'analyse de flux de matières**

Tout comme la mise en œuvre de l'économie circulaire, il n'existe pas de mode d'emploi standardisé pour la réalisation d'une AFM. Toutefois, il existe certaines d'étapes indispensables qui seront présentées ci-dessous (France. MEDDE, 2014).

Une première étape très importante consiste à identifier les objectifs de l'étude. Étant donné que plusieurs circonstances peuvent mener à réaliser une AFM et que les types de résultats peuvent varier en fonction de la méthodologie qui est employée, il est très important que le choix de la méthode soit cohérent avec les objectifs fixés. Par conséquent, il faut au préalable bien définir pourquoi l'étude est réalisée, qui voudra s'en servir et comment elle sera utilisée. Plusieurs objectifs peuvent par la suite être formulés tels que d'identifier des pistes d'amélioration pour optimiser la gestion des ressources sur le territoire (EcoRes, 2015), d'identifier des solutions pour améliorer les performances environnementales (Sahely et autres, 2003), mesurer la performance énergétique et matérielle, l'intensité des échanges avec l'extérieur, la pression sur les ressources (France. MEDDE, 2014), orienter les prochaines politiques publiques (Kennedy et autres, 2010), etc.

La seconde étape vise à choisir la méthodologie d'AFM qui sera utilisée. Plusieurs études portant sur la caractérisation de métabolisme urbain ont tout simplement choisi une méthode nationale largement éprouvée, comme la méthode Eurostat 2001 qui sera discutée dans le chapitre suivant, et l'on adaptée pour qu'elle soit applicable à l'échelle d'une région ou d'une ville. Par conséquent, plusieurs études se retrouvent face à une incohérence entre les objectifs et la méthode choisie. Cette incohérence mène à l'obtention de résultats moins pertinents à utiliser. Par exemple, en France le gouvernement désire que les régions et départements comprennent mieux la circulation des flux de matières sur leurs territoires dans le but de mettre en place des projets d'économie circulaire à l'échelle régionale. Cependant, ils ont choisi d'utiliser la méthode Eurostat 2001 qui permet seulement de quantifier les flux qui entrent, sortent et s'accumulent sur le territoire, mais ne permet pas de comprendre comment ces flux circulent au sein du territoire lui-même. Le choix de la méthode est donc une étape cruciale qui dépend de plusieurs choses, dont les objectifs préalablement fixés et les données disponibles.

Une troisième étape consiste à choisir comment les données seront organisées. Peu importe le choix de la méthode, il n'existe pas d'outil à l'heure actuelle qui permet de structurer les données collectées et de les traiter automatiquement. Le choix de l'organisation des données doit suivre une nomenclature bien précise pour garder une certaine cohérence. La nomenclature européenne « Material Flow Analysis » (MFA) 2011 est très utilisée, car elle correspond à celle choisie dans la méthode nationale Eurostat 2001 (Eurostat, 2001).

Une quatrième étape est de créer une équipe responsable de la mise en œuvre du projet (comité de pilotage) et une équipe responsable d'appliquer la méthodologie sélectionnée (comité technique) (France. MEDDE, 2014).

#### **1.4. L'analyse de flux de matières au Québec**

L'abondance des ressources naturelles du Québec lui confère une position avantageuse d'un point de vue mondial. En effet, le Québec couvre une superficie de 1 667 712 km<sup>2</sup> qui renferme d'importantes réserves en eau, énergie, forêts et mines (Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

(MERN), 2013a). Par conséquent, en 2013, l'utilisation et la transformation des ressources comptaient pour 10,2 % du produit intérieur brut (PIB) et 4,5 % de la totalité des emplois au Québec (Québec. MERN, 2013a). L'extraction et la transformation de ces ressources entraînent des bénéfices sociaux et économiques, mais s'accompagnent aussi de conséquences environnementales non désirées. De plus, la perturbation des services écosystémiques représente un risque de plus en plus préoccupant quant à la durabilité des activités économiques des entreprises québécoises. Par conséquent, la nouvelle stratégie gouvernementale de développement durable du Québec 2015-2020 prévoit « Gérer les ressources naturelles de façon responsable et respectueuse de la biodiversité » pour soutenir la vitalité économique et maintenir la biodiversité (Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2015a). Pour ce faire, elle vise à gérer les ressources naturelles de façon efficiente et concertée en améliorant par exemple les connaissances par l'acquisition et la diffusion de données concernant la gestion des ressources et les impacts et risques associés. Elle suggère aussi de déployer de nouveaux mécanismes de concertation pour instaurer entre les diverses parties prenantes une culture de collaboration permettant l'adhésion des populations concernées à des objectifs communs. En complément, la stratégie vise aussi à « Développer une économie prospère d'une façon durable, verte et responsable » en incitant d'ici 2020,

« la mise en œuvre de mesures ou la contribution à des projets visant le développement d'un système économique circulaire et celui de l'écologie industrielle ainsi que le renforcement des capacités des entreprises et des municipalités dans ce domaine. » (Québec. MDDELCC, 2015a, p. 38)

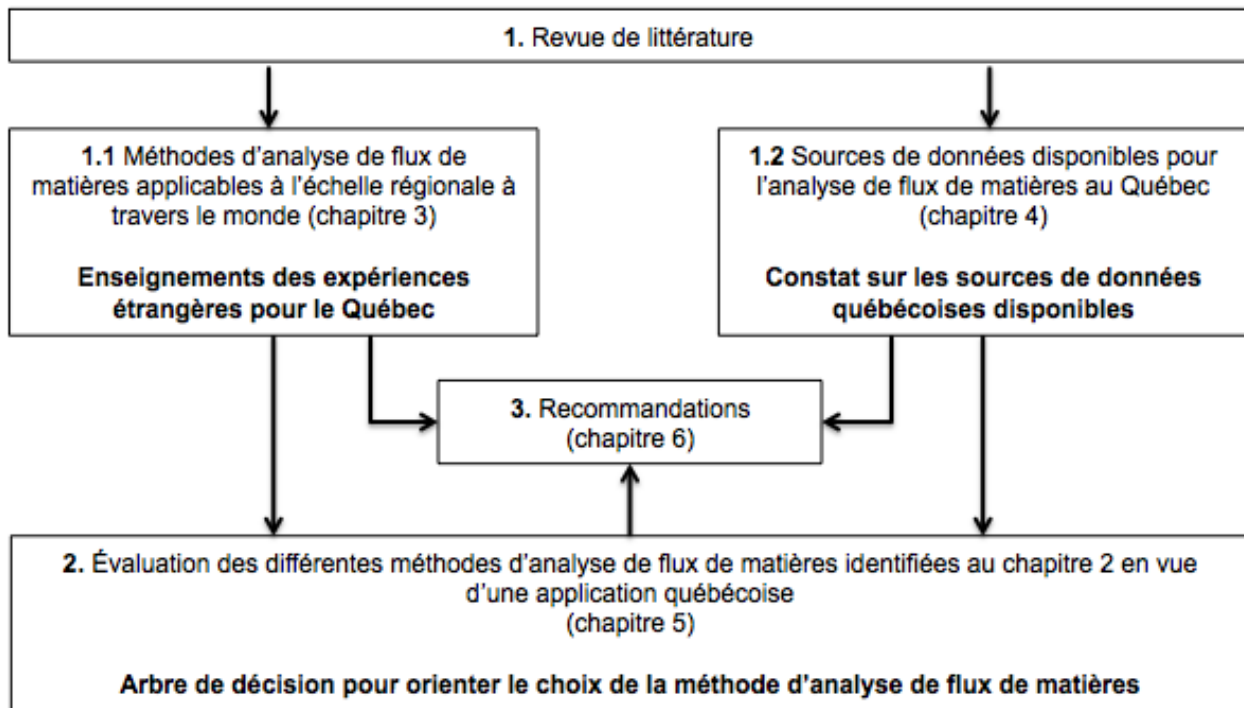
De plus, la stratégie vise à assurer l'aménagement durable du territoire, soutenir le dynamisme des collectivités et améliorer l'efficacité énergétique (Québec. MDDELCC, 2015a). Tous ces objectifs peuvent être atteints en encourageant la mise en place de l'économie circulaire au profit de l'économie linéaire. Par conséquent, la réalisation d'AFM dans les régions québécoises peut contribuer à engager cette transition de modèle économique et cadre parfaitement avec les orientations de la nouvelle stratégie gouvernementale de développement durable du Québec 2015-2020 (Québec. MDDELCC, 2015a). En effet, la caractérisation des métabolismes territoriaux au Québec pourrait initier une démarche de travail collaboratif pour la mise en place de projets d'économie circulaire entre les acteurs des territoires. Elle supporterait une meilleure connaissance de la gestion des ressources sur le territoire québécois et permettant de mesurer l'efficacité des démarches déployées. Dans une optique de transition économique, la comptabilité de flux de matières au Québec représente un outil indispensable pour identifier des pistes d'amélioration de la gestion des ressources.

En somme, la réalisation d'AFM dans les régions québécoises permettrait d'améliorer les connaissances de la gestion des ressources, ce qui correspond à une première étape pour un Québec durable.



## 2. MÉTHODOLOGIE

Comme mentionné dans le chapitre précédent, la réalisation d'AFM dans les régions québécoises pourrait faciliter la transition vers une économie circulaire plus durable. Toutefois, actuellement, il n'existe pas de méthode ayant été largement éprouvée qui peut s'appliquer à l'échelle de toutes les régions québécoises. Par conséquent, pour initier des démarches d'AFM au Québec, il faut au préalable encadrer le choix d'une méthode par les acteurs régionaux. Cet essai a donc pour objectif principal d'explorer les méthodes applicables dans le contexte québécois et de développer une approche qui vise à orienter les utilisateurs vers la méthode d'AFM qui répond le mieux à leurs besoins. Pour atteindre cet objectif, la méthodologie utilisée dans cet essai est présentée à la figure 2.1.



**Figure 2.1 : Vue d'ensemble de la méthodologie employée dans l'essai**

La première étape consiste à faire une revue de littérature. Cette phase de recherche comporte deux parties : les méthodes d'AFM applicables à l'échelle régionale à travers le monde et les sources de données disponibles pour l'AFM au Québec.

Pour la recherche sur les méthodes d'AFM, de nombreux articles, monographies et site Internet ont été consultés. De plus, lors de cette recherche, pour chaque méthode, une attention particulière a été portée sur les éléments méthodologiques utilisés, les avantages, les limites, les objectifs, les résultats obtenus, les données nécessaires, les éléments de mises en œuvre et les projets émergés grâce à l'AFM. Malgré les nombreuses sources disponibles sur les différentes études de métabolisme urbain, peu d'information était fournie sur les éléments de mises en œuvre et les projets qui ont émergés grâce à la réalisation de l'AFM. Par conséquent, pour approfondir les connaissances sur certaines méthodes, des entretiens avec

des chercheurs et des acteurs du territoire concernés ont été effectués. À cet égard, le directeur de l'Institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire (EDDEC), Daniel Normandin, a été consulté pour identifier les acteurs clés à contacter. Cette première partie de la recherche d'information a permis d'identifier et de décrire les méthodes d'AFM existantes à travers le monde et de formuler des enseignements des expériences étrangères.

La deuxième partie de la recherche d'information portait sur les sources de données disponibles pour la réalisation d'AFM au Québec. Lors de cette recherche, les bases de données fédérales, provinciales et municipales ont été explorées dans le but de détecter les données disponibles et les données manquantes. Cette deuxième partie de recherche a donc permis de formuler un constat sur les données québécoises disponibles pour réaliser des AFM.

Pour réaliser la deuxième étape de la méthodologie, les conclusions tirées de la revue de littérature ont été utilisées pour identifier des critères qui influencent le choix d'une méthode d'AFM par rapport à une autre. Ces critères ont par la suite été utilisés dans une analyse multicritère pour comparer les méthodes d'AFM entre elles. Suite à cette comparaison, un arbre de décision a été construit pour orienter les acteurs régionaux vers la méthode la plus appropriée.

Enfin, la troisième étape consistait à formuler des recommandations générales pour instaurer la démarche d'AFM au Québec. Ces recommandations découlent des conclusions tirées des enseignements des expériences étrangères, du constat sur les sources de données québécoises disponibles et de l'évaluation des méthodes.

### **3. L'ANALYSE DE FLUX DE MATIÈRES : MODÈLES MÉTHODOLOGIQUES**

À travers le monde, il existe deux grandes familles de méthodes d'AFM : Eurostat 2001 et Baccini et Brunner 1991 (Eurostat, 2001 et Baccini et Brunner 1991). Initialement, ces deux méthodes avaient été développées pour être appliquées à l'échelle nationale. Par conséquent, pour être en mesure d'appliquer ces méthodes à l'échelle régionale, plusieurs études ont créé leur propre méthode d'AFM inspirée de ces méthodes. Par conséquent, il existe maintenant plusieurs méthodes d'AFM régionale qui découlent des deux grandes familles initiales. Le chapitre qui suit commencera par présenter les deux grandes familles et les éléments méthodologiques de base qu'elles possèdent. Ensuite, les méthodes de métabolisme urbain développées à travers le monde seront expliquées. Enfin, les enseignements tirés des expériences étrangères seront présentés.

#### **3.1. Les deux familles d'analyses de flux de matières**

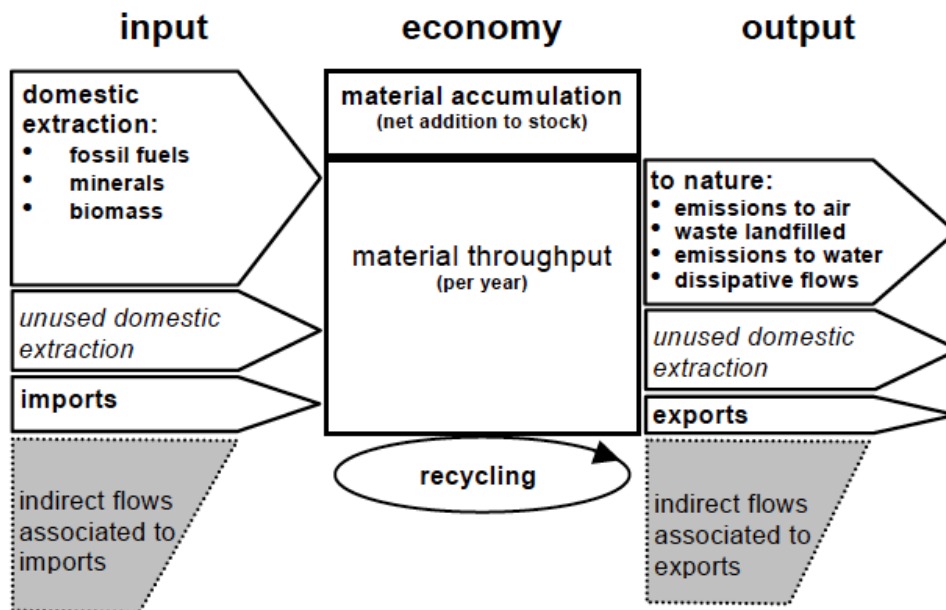
Les premiers constats sur la dépendance d'un territoire à l'importation de quantités importantes de ressources furent réalisés en 1965. L'américain Abel Wolman a mis en lumière pour la première fois dans son article « Metabolism of cities » que les villes agissaient comme des parasites qui dépendent entièrement d'importations de ressources pour leur fonctionnement et rejettent vers la biosphère leurs déchets (Hammer et autres, 2003). C'est plus tard dans les années 1990 que l'AFM a été utilisé concrètement pour les premières fois à l'échelle nationale et a permis de faire un état des lieux de l'utilisation des ressources en Autriche et au Japon (Japon. Ministry of the Environment, 1992). Depuis, l'intérêt à réaliser des AFM a rapidement augmenté dans la communauté scientifique et beaucoup d'efforts ont été menés pour harmoniser les différentes approches méthodologiques développées (Hammer et autres, 2003).

À ce jour, toutes les méthodes qui existent sont basées sur le principe de conservation de la matière. Partant de cette notion, deux grandes familles de méthodes se distinguent. La première méthode utilise un principe analytique de type ascendant, c'est-à-dire que l'on part du détail, l'échelon le plus fin, pour consolider progressivement et opérer une synthèse (France. MEDDE, 2014). Cette ligne de pensée découle des constatations émises en 1991 par Baccini et Brunner dans leur livre intitulé : « The Metabolism of the Antroposphere » (Baccini et Brunner 1991). Aujourd'hui, le guide référentiel de cette méthode est le « Practical Handbook of MFA » rédigé en 2004 par Brunner et Rechberger (Brunner et Rechberger, 2004). La deuxième méthode utilise un principe analytique descendant qui part de l'ensemble et décompose en éléments plus détaillés pour déboucher sur un état des lieux de l'objet étudié. Cette analyse est donc plus globale et quantifie les flux qui entrent et sortent du système sans porter attention au fonctionnement interne de celui-ci, souvent représenté comme une boîte noire. Le guide référentiel de cette méthode est « Eurostat » et a été rédigé en 2001 et mis à jour en 2013 (Eurostat, 2001 et Eurostat, 2013). Dans le texte qui suit, les éléments méthodologiques de base ainsi que les forces et faiblesses de chacune de ces méthodes, seront présentés.

### 3.1.1. Méthode Eurostat 2001 (type descendant)

En 2001, l'Union européenne (UE), appelée à cette période la Communauté européenne (CE), a élaboré le guide pratique Eurostat 2001. Ce guide présente une méthode pour mettre en œuvre la comptabilité des flux de matières à l'échelle d'un pays en Europe. Cet ouvrage avait pour objectif principal de faciliter la réalisation d'AFM dans les pays européens. La publication de ce guide fut un premier pas vers l'harmonisation terminologique des concepts d'AFM et des tables de compilation de données.

Comme mentionné précédemment, la méthode préconisée par ce guide, consiste à comptabiliser l'intégralité des flux nécessaires au fonctionnement socio-économique d'un territoire sans analyser comment ces flux s'articulent au sein du système, celui-ci demeurant sous forme d'une boîte noire. Pour ce faire, plusieurs flux doivent être calculés. La méthodologie Eurostat 2001 propose de séparer l'ensemble des flux en cinq catégories : extractions locales, importations, rejets vers la nature (eau, air et sol), exportations et extractions locales non utilisées. Les flux recyclés dans le système sont également pris en compte, mais ne constituent pas une catégorie séparée. La figure 3.1 représente la convention utilisée par la méthode pour illustrer le métabolisme territorial. Les « stocks » représentent ce qui ne ressort pas du métabolisme et s'accumulent dans le système socio-économique sous plusieurs formes : des bâtiments, des infrastructures routières, etc. (Eurostat, 2001)



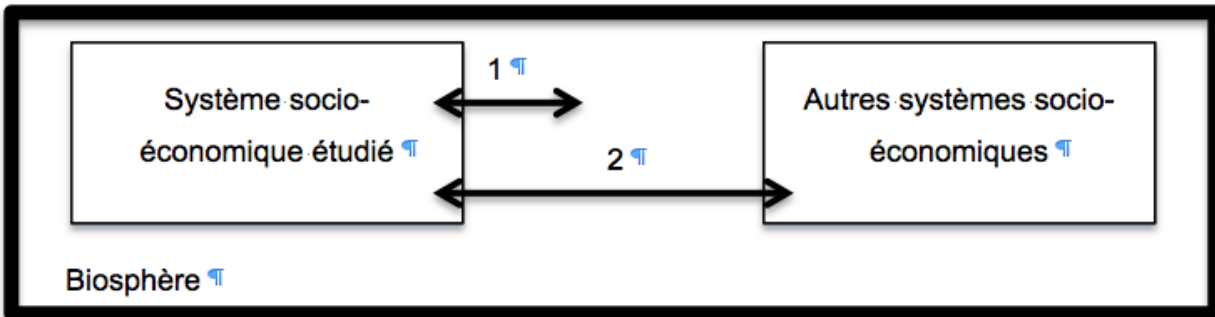
**Figure 3.1 : Convention utilisée pour illustrer le métabolisme territorial dans la méthode Eurostat 2001** (tirée de Eurostat, 2001, p. 16)

En addition aux cinq catégories de matières identifiées par la méthode, les éléments d'équilibrage ainsi que les flux indirects sont pris en compte. Le tableau 3.1 qui suit présente les différentes catégories, leur description et un aperçu des sous-catégories de matières qui y sont inclus. (Eurostat, 2001)

**Tableau 3.1 : Classification et catégories de flux de matières** (inspiré de Eurostat, 2001 et France. MEDDE, 2014)

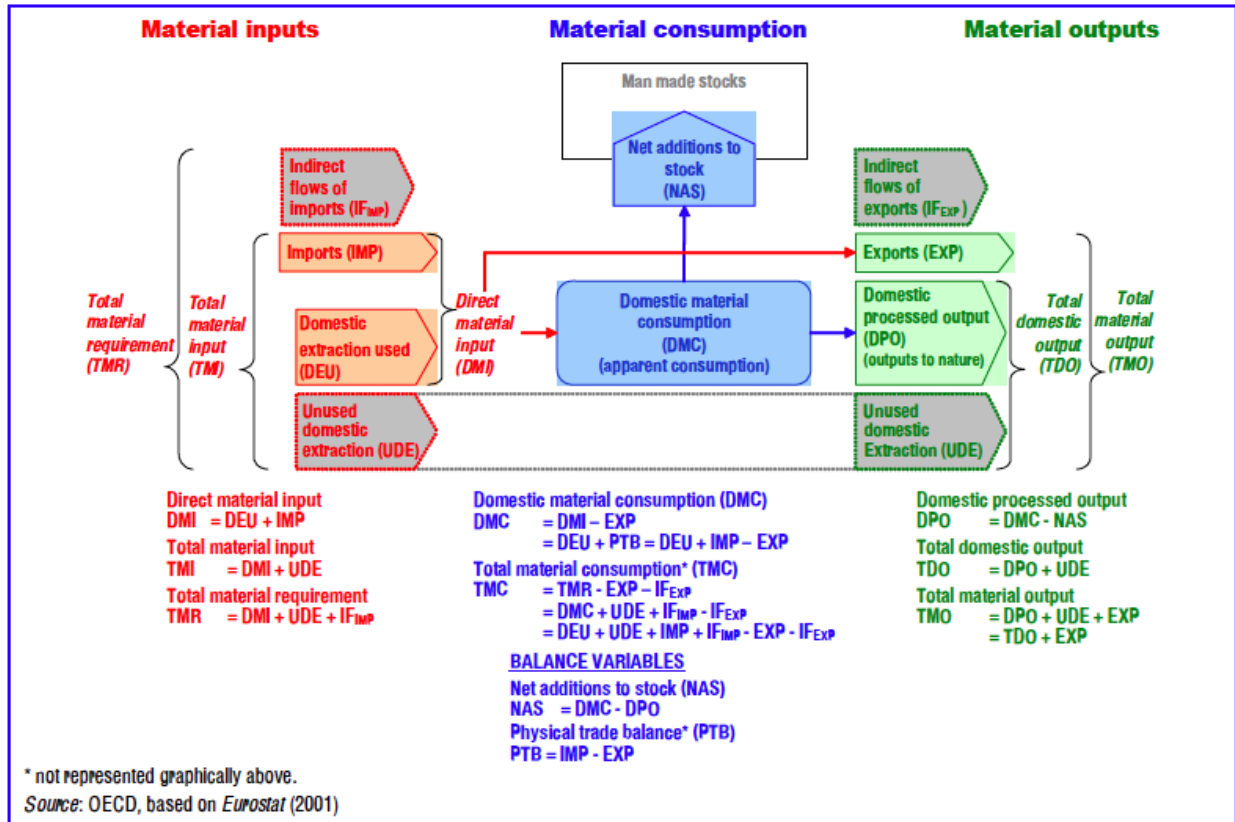
Catégories de flux	Description (France. MEDDE, 2014)	Sous-catégories de matières incluses (Eurostat, 2001)
Extraction intérieure utilisée	Matières extraites et utilisées à l'intérieur des limites du système socio-économique étudié. Elles sont donc utilisées pour supporter les activités humaines du système en soi.	Combustibles fossiles, minerais et biomasse
Extraction intérieure inutilisée	Matières extraites à l'intérieur des limites du système socio-économique étudié, mais elles n'entrent pas dans l'économie. Ces matières sont souvent indirectement extraites et possèdent rarement une valeur économique.	Matières inutilisées extraites de mines et carrières, biomasse cultivée inutilisée et matières inutilisées extraites de l'excavation et des dragages
Importations	Matières qui partent d'une économie externe à celle présente dans le système socio-économique étudié et qui entre dans l'économie de ce système.	Matériaux bruts, produits semi-manufacturiers, produits finis, autres produits, emballage et déchet à traiter
Émissions vers la nature	Substances émises dans l'air, l'eau et les sols par le système socio-économique étudié. Cette classe inclut les pertes dissipatives associées à l'utilisation de produits.	Émission à l'air, émission à l'eau, enfouissement de déchets et pertes dissipatives associées à l'utilisation de produits
Exportations	Matières qui partent de l'économie du système socio-économique étudié et entrent dans une économie externe à ce système.	Matériaux bruts, produits semi-manufacturiers, produits finis, autres produits, emballage et déchet à traiter
Éléments sortants d'équilibrage	Afin de prendre en compte le principe de conservation de la matière, il est nécessaire d'équilibrer les entrées et les sorties. Pour cela, l'oxygène, le dioxyde d'azote, l'eau et le dioxyde de carbone qui entrent dans les processus de combustion, respiration et production d'engrais azotés doivent être comptabilisés. Par exemple, des équations chimiques doivent être utilisées pour balancer le tout comme avec l'équation suivante : carbone + oxygène = dioxyde de carbone + vapeur d'eau.	Oxygène nécessaire aux combustions d'énergies ainsi qu'à la respiration des humains et du bétail et azote nécessaire à la fabrication d'engrais
Éléments entrants d'équilibrage		Vapeur d'eau issue des combustibles d'énergies, vapeur d'eau et dioxyde de carbone issus de la respiration des humains et du bétail
Addition nette au stock	Différence entre le nombre de matières qui sortent et le nombre de matières qui entrent dans le système socio-économique étudié.	Infrastructures, bâtiments, etc.
Flux indirects liés aux importations	Il s'agit à la fois de matières inutilisées et des flux de matières utilisées pour produire et transporter les matières ou produits qui sont importés ou exportés du système socio-économique étudié.	Matières premières contenues dans les produits importés/exportés et extraction inutilisée associée avec l'importation/exportation de produits
Flux indirects liés aux exportations		

Pour réaliser l'AFM selon la méthode Eurostat 2001, il faut absolument que les limites du système étudié soient déterminées. Il existe deux types de délimitation (illustrées à la figure 3.2). Les flèches illustrées sur la figure représentent les transferts de flux de matières. La première représente la frontière entre le système socio-économique et l'environnement local où sont extraites les ressources (minéral, eau, etc.) et où sont rejetés les déchets. La deuxième représente la frontière entre le système socio-économique étudié et les autres systèmes socio-économiques d'où viennent les importations et d'où partent les exportations. (Hammer et autres, 2003)



**Figure 3.2 : Délimitation à définir lors de la réalisation d'une analyse de flux de matières** (inspirée de Eurostat, 2001)

Dans une AFM, l'interprétation des données s'effectue avec plusieurs indicateurs intégrés. Ceux-ci se distinguent des indicateurs utilisés dans les autres approches d'évaluation environnementale, car ils ne sont pas sectoriels comme la production de déchets et l'utilisation de l'eau. Les indicateurs utilisés dans l'AFM mesurent plusieurs choses, dont la quantité de ressources naturelles qui sont prélevées dans la biosphère pour assurer le fonctionnement de l'économie d'un territoire, la quantité de matières rejetées dans l'environnement (eau, air et sol) et la quantité de matière qui s'accumule sur le territoire sous forme de bâtiments ou d'infrastructures. De plus, ces indicateurs permettent de mesurer la performance énergétique et matérielle, l'intensité des échanges avec l'extérieur et la pression sur les ressources. Ces informations sont très utiles pour développer les nouvelles politiques et stratégies de gestion des ressources. Les indicateurs utilisés dans l'AFM sont très nombreux. Par conséquent, la figure 3.3 présente les principaux indicateurs et comment ils sont calculés. Pour plus d'information sur les indicateurs et ce qu'ils représentent, l'annexe 1 de cet ouvrage décrit chaque indicateur en détail. (France. MEDDE, 2014)



**Figure 3.3 : Principaux indicateurs utilisés en analyse de flux de matières** (tirée de Organisation de coopération et de développement économique (OCDE), 2008, p. 78)

La méthode Eurostat 2001 permet d'évaluer la durabilité des activités socio-économiques d'un territoire en posant un diagnostic sur l'utilisation des ressources sur un territoire bien défini à un temps donné en utilisant de nouveaux indicateurs intégrés. La simplicité de la méthode lui permet d'être facilement adaptée pour une application à l'échelle régionale. Malgré ces avantages, la méthode Eurostat 2001 comprend quelques limitations. Tout d'abord, l'énergie n'est pas comptabilisée en tant que telle, car les flux sont comptabilisés en tonnes de matières et non en joules. Ensuite, elle ne comptabilise pas la consommation d'eau, car celle-ci se retrouve en quantité trop importante ce qui viendrait camoufler les autres résultats. Or, l'eau est un enjeu très important pour certains territoires. Par la suite, cette méthode ne permet pas de prendre en considération les enjeux associés à des flux très faibles en masse même si ceux-ci sont rares, voire toxiques. De plus, il est difficile d'appliquer cette méthode ailleurs qu'en Europe, car les nomenclatures de flux varient et les sources de données sont très différentes. Enfin, l'inconvénient majeur de cette méthode est la présence de la boîte noire. En effet, sans savoir comment les flux circulent au sein d'un territoire, il est difficile de proposer des actions concrètes pour améliorer leur valorisation. (France. MEDDE, 2014 et Rosado et autres, 2014)

### 3.1.2. Méthode Baccini et Brunner 1991 (type ascendant)

La méthode Baccini et Brunner 1991 est une méthodologie de comptabilité de matières et de substances qui a originellement été développée pour évaluer l'efficacité de procédés technologiques. Par exemple, pour évaluer l'efficacité avec laquelle un système de traitement des eaux usées fonctionnait, on calculait le ratio entre la quantité de sortants décontaminés et la quantité d'entrants contaminés ce qui donnait une indication de l'efficacité du traitement. Avec les années, la méthode a été adaptée pour évaluer et contrôler les processus métaboliques des systèmes créés par l'homme et améliorer l'utilisation des ressources et la protection de l'environnement (Brunner et Rechberger, 2004).

Comme mentionné précédemment, la méthode Baccini et Brunner 1991 est de type ascendant. Par conséquent, plus de données doivent être amassées afin de dresser un portrait détaillé de la circulation des flux dans un système socio-économique donné ce qui évite d'avoir une boîte noire. Cet élément est probablement l'avantage le plus important que représente cette méthode par rapport à la méthode Eurostat 2001. La figure 3.4 présente un schéma d'AFM pour la méthode Baccini et Brunner 1991. Les rectangles représentent des « procédés » et les flèches représentent des « flux » de matières. Les lignes pointillées représentent les « limites du système » étudié. Ces limites sont définies de la même façon que la méthode Eurostat 2001 expliquée plus tôt. Les petits rectangles qui apparaissent parfois dans les procédés représentent l'accumulation nette de matières : les « stock ». (Brunner et Rechberger, 2004)

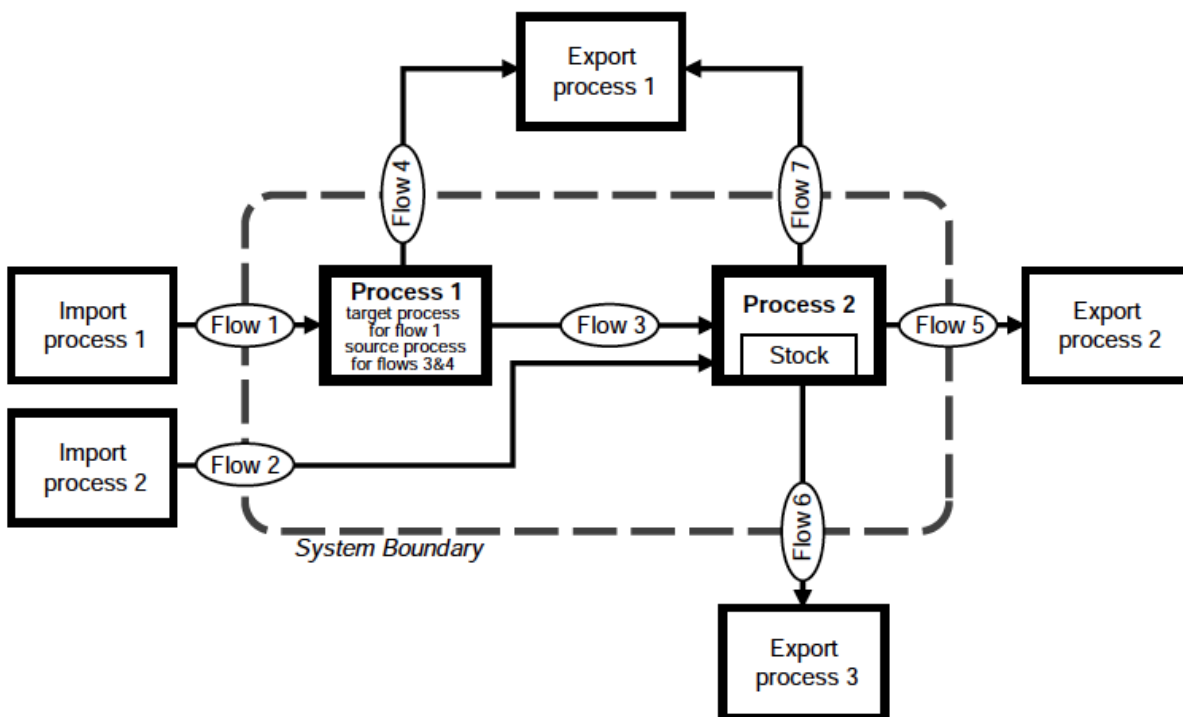


Figure 3.4 : Schéma d'analyse de flux de matières pour la méthode Baccini et Brunner 1991 (tirée de Brunner et Rechberger, 2004, p. 42)



Pour s'assurer que l'analyse prend en compte tous les flux nécessaires aux activités humaines, cette méthode suggère de formuler les activités anthropogéniques auxquelles le territoire doit subvenir. Dans le guide de Brunner et Rechberger 2004, quatre activités sont formulées : résider et travailler, transporter et communiquer, se nourrir et nettoyer. Ces activités sont ensuite divisées en procédés. Par exemple, la construction de bâtiment peut être un procédé découlant de l'activité résider et travailler. Le tableau 3.2 présente les procédés compris pour chaque type d'activité. De plus, il est à noter qu'il est possible de formuler d'autres activités et qu'il est aussi possible de représenter les procédés en différents secteurs économiques (primaire, secondaire, tertiaire) (Brunner et Rechberger, 2004).

**Tableau 3.2 : Exemple de procédés par type d'activité selon la méthode Baccini et Brunner 1991**  
(inspiré de EcoRes, 2015, p. 22)

Activité	Procédés
Se nourrir	Produire de la nourriture liquide ou solide (inclus la chasse, la cueillette, la production agricole) et sa distribution aux consommateurs Consommer (cuisiner, manger et boire) Élimination des déchets provenant des résidus digérés
Nettoyer	Pour s'occuper de la santé humaine (hygiène) Maintenir la qualité (esthétique et fonctionnement) de produits Protection environnementale (gestion et traitement des déchets)
Résider et travailler	Pour construire Maintenir la qualité (esthétique et fonctionnement) de produits Protection environnementale (gestion et traitement des déchets)
Transporter et communiquer	Pour transporter les personnes et les marchandises Pour transporter l'information

L'avantage de cette méthode est la compréhension de la circulation des flux au sein du système ce qui permet d'associer les flux de matières avec les activités économiques et leur spatialisation dans la ville ou dans la région. Ceci permet entre autres d'identifier les flux les plus impactant pour l'environnement, ceux qui possèdent un potentiel de valorisation et les acteurs qui peuvent améliorer l'efficacité à laquelle ces flux sont utilisés. Ainsi, il est plus facile d'orienter les politiques environnementales.

Cette méthode peut sembler plus rigoureuse et systémique que la méthode Eurostat 2001 en raison des nombreuses données élémentaires qu'elle utilise. Or, l'analyse approfondie du fonctionnement interne du territoire rend les choses plus difficiles, plus longues et nécessite plusieurs estimations pour contrecarrer les données manquantes (Brunner et Rechberger, 2004).

### **3.2. Les modèles méthodologiques d'analyse de flux de matières développées à travers le monde**

Pour faire l'inventaire des méthodes d'AFM appliquées à l'échelle d'une ville ou d'une région, une revue de littérature a été réalisée. Cette revue de littérature comporte 26 études. Les études n'ayant pas assez d'information pour comprendre les méthodologies ont été exclues. Les études ayant inventorié les flux de matières, mais n'ayant pas appliqué une méthodologie d'AFM ont été exclues. Les études faisant l'inventaire de tous les flux de matières entrants et sortants d'un territoire ont été privilégiées par rapport aux études focalisées sur des matières particulières. Cependant, certaines d'entre elles qui ont utilisé des méthodes originales et intéressantes à appliquer dans le contexte québécois ont été retenues. Par exemple, l'étude du Danemark avec la méthode de l'analyse de réseau. Ainsi, parmi les 26 études recensées, dix méthodes distinctes et pertinentes ont été identifiées. Le tableau 3.3 présente les différentes études de métabolisme urbain en fonction des méthodes préconisées. Le texte qui suit présentera chacune des méthodes localement développées en portant une attention particulière aux éléments méthodologiques, aux sources de données utilisées, aux avantages, aux limites et aux types de résultats obtenus.

**Tableau 3.3 : Revue de littérature sur les méthodes d'analyse de flux de matières régionales**

<b>Méthode</b>	<b>Région</b>	<b>Référence</b>
Eurostat 2001 adaptée à l'échelle régionale	Bourgogne	(Alterre Bourgogne, 2013)
	Pays basque	(IHOBE, 2002)
	Lille	(Duret et autres, 2007)
	Limerick	(Browne et autres, 2009)
	Lisbonne	(Niza et autres, 2009)
	Singapoure	(Schultz, 2007)
	Wallonie	(ICEDD, 2013)
	York	(Barett et autres, 2002)
Eurostat 2001 adaptée à l'échelle régionale et indicateur LEPO	Paris	(Barles, 2009)
Analyse du métabolisme urbain (UMAn)	Lisbonne	(Rosado et autres, 2014)
Adaptation hybride Eurostat 2001 et Baccini et Brunner 1991	Bruxelles-Capitale	(EcoRes, 2015)
« Input-output »	Toronto	(Sahely et autres, 2003)
	Liverpool	(Barett et autres, 2001)
	Los Angeles	(Ngo et Pataki, 2008)
	Vienna	(Brunner et autres, 1998)
	Amazonie	(Amann et autres, 2002)
Analyse de réseau	Danemark	(Pizzol et autres, 2013)
	Vienna	(Chen et Chen, 2012)
Analyse de l'émergie	Montréal	(Vega-Azamar et autres, 2013)
	Macao	(Lei et autres, 2008)
	Rome	(Ascione et autres, 2009)
	Beijing	(Zhang et autres, 2011)
Analyse de l'éco-efficacité	Shenzhen	(Zhang et Yang, 2007)
Analyse du métabolisme urbain	Vancouver	(Moore et autres, 2013)
Adaptation de Baccini et Brunner 1991	Canton de Genève	(Emmenegger, 2003)
	Birmingham	(Hunt et autres, 2014)

### **3.2.1. Méthode Eurostat 2001 adaptée à l'échelle régionale (Bourgogne)**

La revue de littérature a montré que la méthode Eurostat 2001 adaptée à l'échelle régionale est la méthodologie d'AFM la plus fréquemment employée. En effet, celle-ci a notamment été utilisée en Bourgogne (Alterre Bourgogne, 2013), à Lille (Duret et autres, 2007), à Limerick (Browne et autres, 2009), au Pays basque (IHOBE, 2002), à Singapour (Shultz, 2007), en Wallonie (ICEDD, 2013), à Lisbonne (Niza et autres, 2009) et à York (Barett et autres, 2002). L'étude de la Bourgogne sera ici présentée à titre de référence pour présenter cette méthode, car cette étude présente le plus d'information sur la méthodologie étant donné qu'elle a participé à réaliser un guide méthodologique référentiel pour la « Comptabilité des flux de matières dans les régions et les départements » en France (France. MEDDE, 2014). Ce guide présente de façon détaillée comment réaliser chaque étape de la méthode Eurostat 2001 de façon adaptée à l'échelle régionale.

De 2012 à 2013, Alterre Bourgogne, une agence régionale responsable pour l'environnement et le développement soutenable en Bourgogne, a réalisé une AFM à l'échelle de celle-ci et de quatre de ses départements : l'Yonne, la Côte-d'Or, la Nièvre et la Saône-et-Loire (Alterre Bourgogne, s.d.). Cette étude dénommée « La Bourgogne comptabilise ses flux de matières » découle de la stratégie nationale de développement durable qui vise à augmenter la productivité avec laquelle la matière est utilisée dans l'économie (Alterre Bourgogne, 2013). Les objectifs de cette étude étaient de comprendre le fonctionnement physique du territoire, d'identifier les flux de matières les plus critiques, de communiquer les résultats à la population et d'élaborer un guide méthodologique à destination des autres régions françaises pour la réalisation de leur propre AFM (EcoRes, 2015).

La méthodologie employée se base sur la méthode Eurostat 2001 comme décrite précédemment, mais apporte des suggestions quant aux sources de données qui renseignent sur flux de matières utilisés en région. De plus, l'étude a choisi de réaliser une méthode à l'échelle d'un département, car les limites de ce territoire correspondent à une limite administrative. En effet, l'étude démontre que lorsque le territoire étudié est délimité par une limite administrative, les données sont plus susceptibles d'exister et il est parfois plus facile d'y avoir accès (Alterre Bourgogne, 2013).

Comme mentionné plus tôt dans la description de la méthode Eurostat 2001, les données nécessaires pour réaliser cette méthode repose dans la plupart des cas sur des statistiques nationales et régionales et ne sont donc pas désagrégées sur le territoire (France. MEDDE, 2014). Toutefois, cette méthode vise à comptabiliser l'ensemble des flux de matières qui traversent le territoire et la disponibilité des données peut affecter la rigueur des résultats (Eurostat, 2001).

Ce type de méthode permet de bien visualiser les besoins matériels du territoire et d'identifier les flux à enjeux, mais ne permet pas de comprendre comment ces flux de matières circulent dans le territoire (Eurostat, 2001). Il est donc difficile de mettre en place des projets d'économie circulaire comme l'écologie industrielle et territoriale quand les acteurs impliqués dans la gestion d'une ressource ne sont

pas identifiés (Organisation pour le Respect de l'Environnement dans l'Entreprise (ORÉE), 2008). De plus, cette méthode ne permet pas de prendre en compte les flux d'eau qui sont porteurs d'enjeux importants (France. MEDDE, 2014). Cette méthode de type ascendant permet donc :

- d'évaluer la durabilité des activités socio-économiques du territoire,
- d'identifier des pistes de solutions pour améliorer les performances environnementales du territoire,
- de quantifier l'ensemble des flux qui traversent le territoire à l'exception de l'eau et de l'énergie et
- de sensibiliser le grand public.

La mise en œuvre de cette démarche a permis de mettre en lumière l'importance des flux de matériaux de construction et des flux agricoles et alimentaires et de développer des stratégies pour optimiser l'utilisation de ces ressources et de réduire les impacts sur l'environnement. Dans le cas des matériaux de construction, la quantification de ces flux par la réalisation de l'AFM ainsi que la mise en place d'une procédure de recyclage des déchets de chantier a permis de valoriser trois millions de matériaux provenant des bâtiments et travaux publics (BTP). De plus, cette région vise à réaliser un schéma de cohérence territoriale (SCOT) afin de diminuer l'étalement urbain non réfléchi qui cause l'utilisation d'importantes quantités de ressources. Elle vise aussi à mieux connaître les aires d'approvisionnement alimentaire et de réduire le gaspillage de la nourriture. (Alterre Bourgogne, 2013)

Enfin, un échange de courriel avec Valérie Trivier, documentaliste pour Alterre Bourgogne, a permis d'identifier les projets qui découleront des résultats de l'AFM. En effet, une étude de la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) est en cours de lancement. Cette étude est à destination d'une communauté de communes d'un territoire bourguignon sur le potentiel en terme d'économie circulaire ainsi que sur la possibilité d'avoir une animation pérenne en terme d'écologie territoriale. De plus, les résultats de l'AFM ont été présentés à différents réseaux d'acteurs lors des journées organisées par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) et la DREAL sur le plan climat et la prévention des déchets. (Trivier, 2015)

### **3.2.2. Méthode Eurostat 2001 adaptée à l'échelle régionale et indicateur LEPO (Paris)**

Tout comme pour la Bourgogne, l'AFM réalisée auprès de Paris et de ses régions découle d'une volonté nationale à mettre en œuvre des projets d'économie circulaire. Ce projet financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR) avait aussi pour objectif d'orienter les prochaines stratégies de développement de la ville. (France. MEDDE, 2014) L'étude portait concrètement sur Paris, la région Grande couronne et la région Petite couronne. La méthode employée dans cette étude se base sur Eurostat 2001, mais comporte une adaptation majeure intéressante. Étant donné que Eurostat 2001 a été développée pour être appliquée à l'échelle nationale, les indicateurs ont été développés en considérant que les lieux de rejets et de traitements des déchets se trouvent à l'intérieur même du pays en raison des réglementations et ne sont donc pas considérés comme des flux sortants. Cependant, dans le cas d'une région, la

situation est très différente, car il est très rare qu'une ville traite ses déchets en milieu urbain. Pour cette raison, cette étude a adapté la méthode Eurostat en regroupant la classe « émission vers la nature » et « exportations » pour les rediviser en trois classes : « exportations exceptées les déchets », « émissions locales vers la nature » et « émissions exportées vers la nature » (Barles, 2009). Par conséquent, un nouvel indicateur a été élaboré : local and exported processed output (LEPO). Celui-ci est calculé en additionnant les rejets locaux et les rejets exportés ce qui correspond à l'ensemble des rejets du système vers la nature (Barles, 2009). L'étude porte aussi sur trois échelles ce qui permet d'obtenir des résultats contrastés entre les trois régions et de les expliquer en fonction des réalités différentes rencontrées par celles-ci (Barles, 2009).

Pour la compilation des données, cette étude a bénéficié de la particularité administrative de la ville de Paris, c'est-à-dire qu'elle représente à la fois une municipalité et un département (Barles, 2009). Par conséquent, la plupart des données nécessaires étaient disponibles, ce qui n'est pas le cas pour les autres villes françaises (Barles, 2009). Les données nécessaires pour réaliser cette méthode sont les mêmes que la méthode Eurostat 2001 et rencontrent les mêmes avantages (données non désagrégées) et inconvénients (tous les flux de matières doivent être comptabilisés pour obtenir des résultats fiables) (Eurostat, 2001). Dans l'étude dirigée par Sabine Barles, professeure à l'Université de Paris 1, l'origine des sources de données et leurs qualités sont bien documentées (Barles, 2009). Les données les plus précises collectées concernent l'extraction de la biomasse, l'importation, l'exportation et les déchets des ménages. Les données concernant les émissions vers la nature sont de moins bonne qualité, car elles ont été estimées à partir des données nationales. Ainsi, les données concernant les flux directs ont pu être comptabilisés. À l'inverse, les données concernant les flux indirects (extractions intérieures inutilisées et flux indirects) n'ont pas pu être comptabilisés en raison des manques de données.

Les résultats obtenus par cette étude ont permis de comprendre le niveau de durabilité de la ville, de quantifier l'ensemble des flux de matières qui traversent le territoire et de mettre en lumière certains flux qui pourraient être optimisés. En ce qui concerne la sensibilisation envers le grand public, les résultats de l'étude du métabolisme urbain ont été utilisés pour concevoir une infographie. Cette infographie créée par l'Agence d'Écologie Urbaine de la mairie de Paris présente sous forme de schéma interactif les flux qui entrent, sortent et s'accumulent sur le territoire de Paris. Un entretien a été réalisé auprès de Thierry Mareschal, chargé de projets à la division éco-développement de l'Agence d'Écologie Urbaine à Paris, pour mieux comprendre la démarche de mobilisation des acteurs du territoire autour du concept d'amélioration du métabolisme. Concrètement, l'infographie avait pour objectif de sensibiliser les acteurs du territoire afin d'initier peu à peu l'émergence de projets d'économie circulaire (Mareschal, 2015). Pour l'instant, aucun projet d'économie circulaire n'a été entrepris suite à cette démarche, mais la prise de conscience collective a permis de faire émerger plusieurs idées de projets qui devraient voir le jour dans les prochaines années (Mareschal, 2015).

### 3.2.3. Méthode d'analyse du métabolisme urbain (UMAn) (Lisbonne)

Le cas de Lisbonne métropolitain est particulier, car deux études d'AFM ont été réalisées auprès de cette ville. La première a été réalisée en 2009 pour l'année de référence de 2004 et utilisait la méthode Eurostat 2001 adaptée à l'échelle régionale présentée plus haut (Niza et autres, 2009). La deuxième étude a été réalisée en 2014 pour les années 2003 à 2009 et effectue une prévision pour les années 2010 et 2050. Cette deuxième étude utilise une nouvelle méthode qui vise à pallier les inconvénients rencontrés par l'utilisation de la méthode Eurostat 2001 (Rosado et autres, 2014). Cette méthode se nomme l'analyse du métabolisme urbain (UMAn). L'étude a été réalisée sur Lisbonne métropolitain qui comporte neuf municipalités au nord (Amadora, Cascais, Lisbon, Loures, Mafra, Odivelas, Oeiras, Sintra et Vila Franca de Xira) et neuf municipalités au sud (Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Sesimbra, Setubal et Seixal) (Rosado et autres, 2014).

La méthodologie d'UMAn désagrège l'économie en 55 secteurs et les flux de matières en 28 types différents ce qui permet d'associer les flux matériels avec des activités économiques et leur spatialisation dans la ville. Le développement de cette méthodologie avait pour but de répondre aux faiblesses de la méthode Eurostat 2001. En effet, cette étude a identifié sept lacunes à la méthode Eurostat 2001 et apporte des réponses à chacune d'entre elles. Le tableau 3.4 présente ces lacunes.

**Tableau 3.4 : Lacunes identifiées à la méthode Eurostat 2001** (tiré de Rosado et autres, 2014)

1. Absence de méthodologie unifiée
2. Manque de données sur les flux à l'échelle régionale
3. Catégorisation de matières limitée
4. Résultats limités concernant les flux de matières parce qu'ils sont associés aux activités économiques
5. Compréhension limitée pour l'origine et la destination des flux
6. Manque de compréhension concernant les dynamiques d'accumulation de matière
7. Manque de connaissance concernant l'ampleur des flux de matières qui sont importés et exportés

La réponse apportée à la lacune numéro trois, catégorisation de matières limitée, est la plus pertinente dans un contexte d'application nord-américain selon Leonardo Rosado, chercheur responsable de cette étude, qui explique dans un échange de courriel avec l'auteur de l'essai que les autres réponses concernent surtout l'adaptation des sources de données européennes (Rosado, 2015). L'utilisation d'une catégorisation comportant 28 types de flux permet d'identifier plus de matières pouvant potentiellement être valorisées ce qui est très utile lorsque la finalité de l'étude est d'optimiser la gestion des ressources et de mettre en place des projets d'économie circulaire (Rosado, 2015). Le tableau 3.5 présente la catégorisation utilisée dans la méthode UMAn.

**Tableau 3.5 : Catégorisation utilisée dans la méthode UMAN** (tiré de Rosado et autres, 2014, p. 88)

Catégorie	Type de matières inclus
Combustibles fossiles	Carburant à faible teneur en cendres Carburant à haute teneur en cendres Lubrifiants, huiles et solvants Plastiques et caoutchouc
Métaux	Fer, acier métaux d'alliages et métaux ferreux Métaux légers Métaux lourds non ferreux Métaux spéciaux Combustibles nucléaires Métaux précieux
Minerais non métalliques	Sable Ciment Argile Pierre Autres (fibres, sel ou parties animales inorganiques)
Biomasse (produits des animaux, foresterie, agriculture)	Biomasse de l'agriculture Biomasse animale Biomasse des textiles Huiles et graisses Sucres Bois et combustibles Papier et carton Biomasse non spécifiée
Produits chimiques et engrais	Alcools Produits chimiques et pharmaceutiques Engrais et pesticides
Autres	Non spécifiés Liquides

Les résultats de la deuxième étude ont permis de vérifier la performance des politiques mises en place en raison de l'AFM réalisée sur plusieurs années. De plus, l'étude a permis d'identifier plusieurs flux qui peuvent être valorisés, tels que les plastiques. Enfin, une carte interactive de Lisbonne métropolitain est consultable sur Internet. Cette carte permet de voir en tonnes et par capital (tonne par habitant) la consommation matériel domestique par type de matières par municipalité, l'eau usée et potable par municipalité et la population de chaque municipalité (Anonyme, s.d.). Cet outil peut être utilisé par les différents acteurs du territoire qui désirent obtenir des informations concernant les flux de matières. Enfin, comme pour la méthode employée en Bourgogne et à Paris, les données nécessaires pour réaliser cette méthode sont les mêmes que la méthode Eurostat 2001 et rencontrent les mêmes avantages (données non désagrégées) et inconvénients (tous les flux de matières doivent être comptabilisés pour obtenir des résultats fiables) (Eurostat, 2001).



### **3.2.4. Adaptation hybride de la méthode Eurostat 2001 et Baccini et Brunner 1991 (Bruxelles)**

La réalisation d'un métabolisme urbain pour la Région de Bruxelles-Capitale émane d'une volonté nationale à mettre en œuvre des projets plus concrets d'économie circulaire. Cette étude a été commanditée et financée par Bruxelles Environnement dans le cadre de l'initiation de la construction collective du programme régional en économie circulaire « Be Circular, Be Brussels ». Pour établir ce métabolisme urbain, les données des années 2010, 2011 et 2012 ont été utilisées. Cependant, l'année pour laquelle le plus de données sont disponibles est 2011, qui sera par la suite utilisée comme année de référence pour l'AFM. (EcoRes, 2015)

La méthode d'AFM utilisée pour cette région provient d'un travail de recherche important sur les études ayant préalablement effectué une AFM à l'échelle d'une région. Les enseignements tirés de cette revue de littérature ont permis de développer une nouvelle méthodologie qui répond mieux aux besoins de la Région de Bruxelles-Capitale. Il a donc été choisi d'implanter une méthodologie hybride sur base des données disponibles. La base de cette méthode utilisée est Eurostat 2001, mais certaines adaptations ont été effectuées pour contrecarrer les inconvénients de cette méthode. D'abord, chaque ressource (énergie, eau, matière) est décrite en unités adaptées à une meilleure compréhension que la méthode Eurostat qui présente les résultats en une seule unité et effectue des agrégations de flux de matières très diverses. Par contre, la classification matérielle des produits entrants et sortants utilisée dans la méthode Eurostat 2001 a été conservée pour cette étude (biomasse, minéraux métalliques, minéraux non métalliques et vecteurs énergétiques fossiles). Ensuite, les résultats sont subdivisés par secteurs économiques, lorsque possible, ce qui suit la méthode Baccini et Brunner 1991. Pour la classification des flux, la méthode suggère d'utiliser le code de Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté européenne (NACE) (ménages, industrie, secteur tertiaire et transport). De plus, les flux indirects ne sont pas pris en compte. Finalement, les flux de matières sont subdivisés en quatre catégories : flux de matières importés et exportés, flux dissipés (déchets, émissions vers l'air et l'eau émis), estimation du stock matériel et flux de production de biomasse. (EcoRes, 2015)

La méthode développée par Bruxelles commence par collecter les données non agrégées présentes dans les statistiques nationales et, lorsque possible, les données désagrégées sont collectées. Ainsi, cette approche méthodologique permet d'adapter la méthode en fonction des données disponibles. Toutefois, l'expérience bruxelloise a montré que parfois des estimations doivent être faites concernant certaines données ce qui diminue la qualité des résultats (EcoRes, 2015).

Pour la mise en œuvre du projet, cinq phases se sont enchaînées :

- Phase 1 : Analyse et exploitation des données existantes ;
- Phase 2 : Réalisation d'un bilan métabolique ;
- Phase 3 : Sélection de flux et évaluation des bénéfices pouvant être tirés par leur valorisation ;

- Phase 4 : Approfondissement des connaissances sur les flux sélectionnés et les mesures de valorisation de ces flux ;
- Phase 5 : Partage dynamique et communicatif des résultats auprès d'experts et d'acteurs du territoire. (EcoRes, 2015)

Cette manière de mettre œuvre le projet est intéressante, car elle permet de cibler concrètement les résultats désirés, d'en tirer un maximum de bénéfices et de mobiliser les acteurs concernés sur le territoire. Pour l'instant, les résultats concrets ne sont pas disponibles, car l'étude est trop récente et les recommandations sont en cours de réalisation.

Il est à noter que cette étude utilise aussi une approche intéressante, car suite à l'AFM elle évalue le potentiel théorique de valorisation de certains flux (EcoRes, 2015). Cette approche est pertinente, car elle permet d'identifier où les efforts doivent être investis pour tirer un maximum de bénéfices.

### **3.2.5. Méthode « input-output » (Toronto)**

La méthode « input-output » a souvent été utilisée dans des villes localisées un peu partout dans le monde : Amazonie (Amann et autres, 2002), Liverpool (Barett et autres, 2001), Los Angeles (Ngo et Pataki, 2008), Toronto (Sahely et autres, 2003) et Vienne (Brunner et autres, 1998). Le but de ces projets était d'orienter les politiques publiques pour améliorer les performances environnementales en identifiant les flux les plus dommageables pour l'environnement. En effet, plusieurs études ont accompagné leur AFM d'une évaluation des impacts sur l'environnement.

La méthodologie utilisée quantifie les flux qui entrent et sortent du territoire sans toutefois viser à comprendre la circulation des flux dans le territoire. De plus, la méthode n'oblige pas à quantifier tous les flux qui traversent le territoire. Les flux étudiés sont alors choisis par les décideurs, souvent représentant les flux majoritaires qui traversent le territoire. Par conséquent, cette méthode nécessite de connaître au préalable les flux de matières les plus importants ou les plus impactants. Par contre, à l'inverse des méthodes qui découlent de la méthode Eurostat 2001, cette méthode permet aux utilisateurs de construire leurs catégories de flux de matières en fonction des données qui leur sont disponibles. (Sahely et autres, 2003)

Les résultats de l'étude permettent de poser un constat sur la durabilité de la ville uniquement d'un point de vue très global et environnemental. Les conclusions obtenues sont les suivantes : l'augmentation de la consommation d'énergie et d'eau est plus basse que l'augmentation de la population, l'augmentation de la consommation des combustibles et de la nourriture est plus grande que l'augmentation de la population, l'augmentation des déchets et des eaux usées est plus basse que l'augmentation de la population et l'augmentation du dioxyde de carbone est plus grande que l'augmentation de la population. (Sahely et autres, 2003)

De plus, selon monsieur Malaz Sebai, chef de projets chez Second Cycle à Toronto, entreprise qui vise à détourner des matières des sites d'enfouissement, les résultats de l'étude n'ont pas permis de mettre en place des projets de valorisation des flux parce que les acteurs n'avaient pas été impliqués en amont (Sebai, 2015).

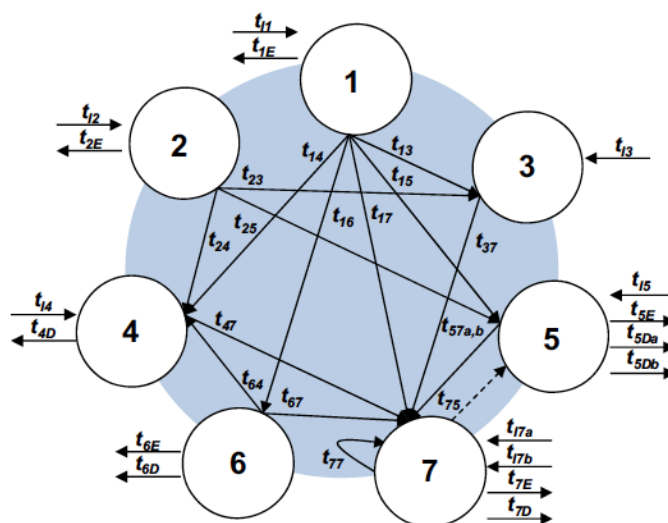
### **3.2.6. Analyse de réseau (Danemark)**

L'analyse de réseau est une méthode qui utilise une approche systémique dans le but de mesurer la performance d'un système (Pizzol et autres, 2013). Initialement, cette méthode était utilisée pour analyser les systèmes économiques afin d'optimiser le profit (Hannon, 1973). Avec les années cette méthode a été adaptée pour être appliquée sur les systèmes naturels et les systèmes humains. Un système humain peut être défini par une série d'interactions et d'interdépendances entre des infrastructures construites par l'homme et les activités qu'elles procurent à la société. Ces systèmes peuvent donc représenter la gestion de l'eau, la gestion des déchets, la production de l'énergie, le transport, etc. L'analyse de la performance de ces systèmes vise à identifier les éléments qui peuvent être améliorés afin de tendre vers un modèle durable.

L'Université d'Aarhus au Danemark a réalisé une analyse de réseau pour les années 2004 à 2008 et a aussi réalisé des prévisions pour les années 2015 et 2020. Cette analyse a été effectuée sur un système de gestion de l'eau d'une municipalité nommée Hillerod. Le but était de tester la méthode, discuter de son applicabilité et identifier des pistes de solutions pour améliorer le système de gestion de l'eau (Pizzol et autres, 2013).

La première étape de la méthode consiste à identifier les limites du système étudié. Dans le cas de l'étude du Danemark, les limites identifiées correspondaient aux limites administratives de la municipalité et aux limites théoriques existantes entre la technosphère et la biosphère (Pizzol et autres, 2013). Autrement dit, tous les flux qui étaient tirés des réservoirs naturels et utilisés par l'homme pour les activités de production et de consommation d'eau étaient pris en compte.

La méthode considère que les ressources sont traitées par un certain nombre d'utilisateurs au sein d'un système. Ainsi, la deuxième étape de la méthode consiste à identifier ces utilisateurs d'eau. Pour l'étude du Danemark, sept utilisateurs d'eau ont été identifiés : distributeurs publics d'eau potable ; distributeurs privés d'eau potable ; services publics ; ménages ; industries ; producteurs d'énergie et acteurs responsables du traitement des eaux usées. La figure 3.5 présente ces différents utilisateurs d'eau dans des cercles et les flux entrants et sortants d'eau sous forme de flèches. De cette façon, il est possible de mieux comprendre comment les flux d'eau sont organisés entre les acteurs d'un territoire et d'avoir une meilleure connaissance de la qualité et de la quantité des flux. L'utilisation de cette méthode permet plus facilement de mettre en place des projets d'économie circulaire, car les acteurs sont identifiés et ils peuvent plus facilement être mobilisés. Il sera aussi d'autant plus facile d'évaluer les bénéfices potentiellement générés par la mise en place de projets d'économie circulaire (Pizzol et autres, 2013).



**Figure 3.5 : Schéma d'analyse de réseau pour le système de gestion des eaux au Danemark** (tirée de Pizzol et autres, 2013, p. 23)

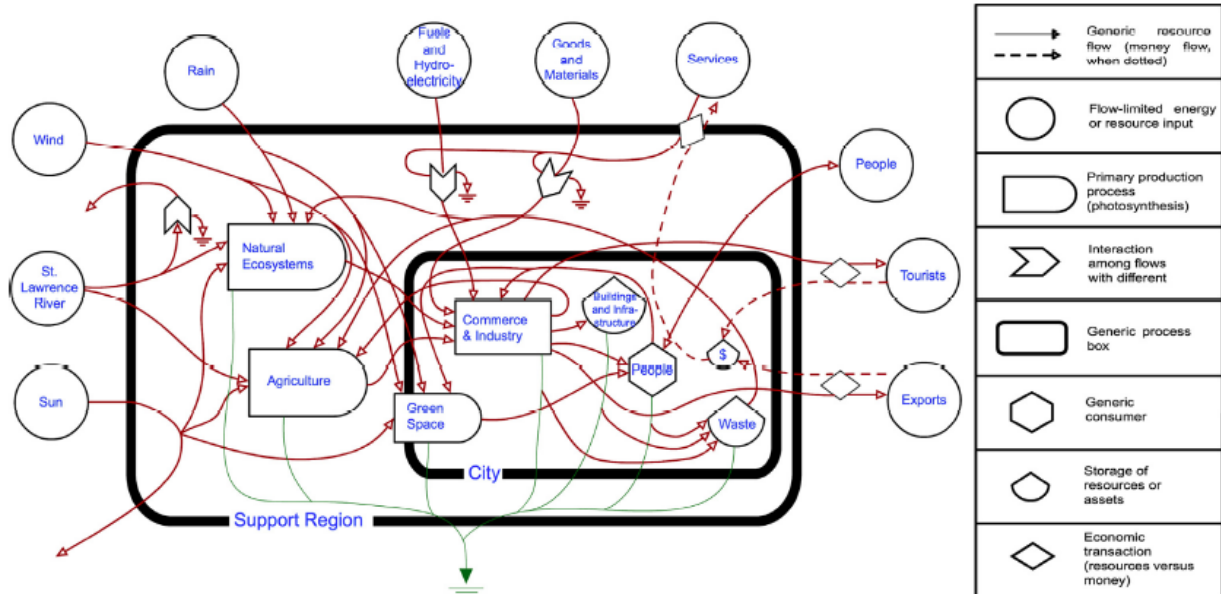
Enfin, la réalisation de cette méthode n'est pas une tâche facile, car un nombre important de données doivent être récoltées auprès des acteurs dispersés sur le territoire. Or, les données sont plus fiables, car celles-ci découlent rarement d'estimations. De plus, les données reflètent mieux la réalité du territoire et l'AFM mesure plus efficacement la circulation des différents flux. En raison du niveau de précision des données à récolter, les recommandations formulées suite à cette AFM s'avèrent plus concrètes et précises que les recommandations formulées suite à la méthode Eurostat 2001. En effet, cette étude a permis d'élaboration une stratégie qui inclut la participation de tous les acteurs concernés dans la gestion de l'eau sur le territoire : d'augmenter la réutilisation de l'eau de pluie, de créer plus d'acteurs sur le réseau pour avoir différents flux de différentes qualités et de recycler l'eau au sein du système lui-même. (Pizzol et autres, 2013)

### 3.2.7. Analyse de l'émergie (Montréal)

À l'inverse des autres méthodes, l'analyse de l'émergie ne découle pas des deux grandes familles de méthodes présentées plus tôt. La méthode d'analyse de l'émergie permet d'évaluer la durabilité d'une ville en intégrant l'ensemble des flux interagissant avec le territoire sur la base d'une unité commune, soit l'émergie solaire (seJ) (Odum, 1996). L'émergie représente une quantité d'énergie incorporée dans un bien ou un service ramenée à l'énergie fournie par le soleil (Odum, 1996). Autrement dit, l'émergie caractérise tous les produits et les services en équivalent d'énergie solaire. Ainsi, il est possible d'évaluer l'ensemble des éléments entrants dans un système sur la base d'une unité commune, ce qui permet de supprimer les problèmes d'interprétation ou de subjectivité qui sont fréquents dans d'autres méthodes d'AFM (Odum, 1996).

Cette méthodologie a été appliquée avec succès à de multiples reprises dans des régions urbaines telles que Beijing (Zhang et autres, 2011), Macao (Lei et autres, 2008), Rome (Ascione et autres, 2009) et dernièrement sur l'Île de Montréal (Vega-Azamar et autres, 2013). Le principe derrière cette méthode a été introduit pour la première fois par Howard T. Odum et repose sur le fait que toutes les transformations énergiques possèdent un certain niveau d'efficacité (Odum, 1996). En effet, cette efficacité peut être exprimée sous forme de transformité (Odum, 1996). La transformité s'exprime en seJ/J ou seJ/g ou seJ/\$, ainsi elle représente la quantité d'énergie nécessaire pour produire une joule (ou un gramme ou un dollar) d'un certain bien ou service (Brown et Ulgiati, 2004). Plus le facteur de transformité est petit, plus la conversion est efficace (Brown et Ulgiati, 2004).

Une analyse de l'énergie débute par l'élaboration d'un diagramme représentant le système qui sera étudié avec ses principaux flux de matières entrants et sortants. La figure 3.6 présente le diagramme réalisé dans l'étude sur l'Île de Montréal (Vega-Azamar et autres, 2013).



**Figure 3.6 : Diagramme des principaux flux de matières entrants et sortants de l'Île de Montréal** (tirée de Vega-Azamar et autres, 2013, p. 20)

Suite à la réalisation du diagramme, un tableau doit être construit pour compiler les données brutes et calculer les flux d'énergie correspondants. Dans une analyse de l'énergie, les flux sont distribués dans cinq catégories : les ressources renouvelables, les ressources non renouvelables, les importations, les exportations et les déchets (Brown et Ulgiati, 2004). Le tableau 3.6 présente un exemple de tableau de compilation des données (Vega-Azamar et autres, 2013). Il est à noter que dans cette analyse, les radiations solaires et le vent doivent être pris en compte.

**Tableau 3.6 : Exemple de tableau de compilation pour la méthode d'analyse de l'énergie** (inspiré de Vega-Azamar et autres, 2013, p. 21)

	Élément	Quantité	Unité	Transformité (seJ/Jg\$)	Référence (transformité)	Énergie (seJ/an)
	<b>Ressources renouvelables</b>					
1	Radiation solaire	2.21x10 <sup>18</sup>	J/an	1.00	Odum, 1996	2.21x10 <sup>18</sup>
2	Vent	1.78x10 <sup>16</sup>	J/an	2.45x10 <sup>03</sup>	Odum, 2000	4.37x10 <sup>19</sup>
	<b>Ressources non renouvelables</b>					
4	Perte de couches arables	4.01x10 <sup>10</sup>	g/an	2.29x10 <sup>09</sup>	Odum, 2000	9.17x10 <sup>19</sup>
	<b>Importations</b>					
5	Céréales	1.66x10 <sup>11</sup>	g/an	9.82x10 <sup>08</sup>	Odum, 1996	1.63x10 <sup>20</sup>
6	Eau potable	6.99x10 <sup>14</sup>	g/an	3.00x10 <sup>06</sup>	Pulselli, 2010	2.10x10 <sup>21</sup>
7	Aluminium	1.88x10 <sup>11</sup>	g/an	7.76x10 <sup>08</sup>	Ascione et autres, 2009	1.46x10 <sup>20</sup>
	<b>Exportations</b>					
8	Dépenses des touristes	2.12x10 <sup>09</sup>	\$/an	1.61x10 <sup>12</sup>	Lei et autres, 2009	3.41x10 <sup>21</sup>
	<b>Déchets</b>					
9	Eaux usées	4.63x10 <sup>15</sup>	J/an	6.66x10 <sup>05</sup>	Huang et Chen, 2005	3.08x10 <sup>21</sup>

Une fois l'énergie calculée pour chaque élément, plusieurs indicateurs peuvent être utilisés pour évaluer la durabilité du territoire comme l'indicateur « Environmental loading ratio » (ELR) qui fait le ratio entre les ressources non renouvelables et les ressources renouvelables (Vega-Azamar et autres, 2013). De cette façon, plus cet indicateur est petit, plus le territoire est durable (Vega-Azamar et autres, 2013).

Les sources de données utilisées dans l'analyse de l'énergie sur l'Île de Montréal sont très intéressantes parce que certaines d'entre elles peuvent être utilisées dans les régions québécoises. Les sources de données consultées sont les suivantes : Statistique Canada, Institut de la statistique du Québec (ISQ), Montréal en statistiques, Environnement Canada, ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN), Hydro-Québec (HQ) et la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM). Les données qui n'étaient pas disponibles pour le secteur manufacturier ont été estimées à partir des données de 2005 de CANSIM et ont été adaptées en fonction des indices de prix. Toutefois, la traçabilité des données est difficile, car l'étude n'indique pas clairement quels documents ont été consultés pour compiler les données. De plus, l'étude explique rarement comment certaines données ont été estimées et ne discute pas de la qualité des données employées. Enfin, l'avantage principal de cette méthode est la comparabilité à l'internationale. En effet, étant donné l'utilisation de la même unité, il y a moins de risques de mauvaise interprétation des résultats (Vega-Azamar et autres, 2013). La principale limite repose sur le fait que la méthode doit parfois utiliser des données monétaires pour contrebalancer le manque de données (Vega-Azamar et autres, 2013).

### **3.2.8. Analyse de l'éco-efficacité du métabolisme urbain (Shenzhen)**

Comme la revue de littérature a permis de le montrer, l'analyse de l'éco-efficacité est une méthode d'AFM moins fréquemment utilisée. L'Université de Beijing a utilisé cette méthode pour évaluer l'éco-efficacité du métabolisme urbain de la ville de Shenzhen en Chine pour les années 1998 à 2004 (Zhang et Yang, 2007).

L'éco-efficacité d'un métabolisme urbain fait référence à la quantité de services sociaux créés par unité de ressource consommée ou par unité de pollution engendrée par le fonctionnement du métabolisme et ce, sur une période de temps arbitrairement choisie (Zhang et Yang, 2007). L'OCDE a proposé une équation qui met en relation l'environnement et l'économie pour mesurer l'éco-efficacité (Stigson, 1999). Cette équation est exprimée par  $E=S/I$  où « S » représente la variation de la quantité de services sociaux (PIB ou population), « I » représente la variation du fardeau écologique sur une période de temps définie et « E » représente l'éco-efficacité (Stigson, 1999). Cependant, « I » dépend de deux facteurs : l'efficacité de l'utilisation des ressources (R) et l'efficacité des systèmes de recyclage des déchets (P). Ces facteurs sont exprimés par  $R= \alpha/\beta$  et  $P= \alpha/\beta$ , où  $\alpha$  équivaut à l'augmentation de PIB ou de population et  $\beta$  équivaut à l'augmentation des ressources et de l'énergie utilisées, puis  $\alpha$  équivaut à l'augmentation de PIB ou de population et  $\beta$  équivaut à l'augmentation des polluants et de déchets (Zhang et Yang, 2007). En somme, R reflète l'éco-efficacité du métabolisme urbain en vue de la réduction des ressources à la source et P reflète l'éco-efficacité du métabolisme urbain en vue du recyclage et de la valorisation des déchets (Zhang et Yang, 2007). Pour calculer concrètement l'éco-efficacité, il suffit de quantifier R et P. Lors de l'interprétation des résultats, plus « E » est élevé, meilleure est l'éco-efficacité du métabolisme étudié pour la période de temps choisie (Zhang et Yang, 2007).

Cette méthode comporte plusieurs limites, car pour calculer l'éco-efficacité, les seules ressources qui sont comptabilisées dans cette méthode sont l'eau et l'énergie. Par conséquent, toutes les autres ressources qui peuvent représenter des enjeux considérables sont exclues de l'étude. De plus, pour la quantification des déchets et des émissions, seulement les eaux usées, les déchets industriels gazeux, les déchets solides, la suie, le dioxyde de soufre et les poussières sont comptabilisés. Ainsi, cette méthode dit mesurer l'éco-efficacité d'un métabolisme territorial, mais elle ne considère pas l'ensemble du poids physique qu'il engendre. Or, les données qui sont nécessaires à sa réalisation sont peu nombreuses et facilement accessibles. Cette méthode s'avère donc souvent facilement applicable.

### **3.2.9. Méthode d'analyse du métabolisme urbain (Vancouver)**

L'étude réalisée pour la ville de Vancouver avait pour objectif principal de faire l'inventaire des flux de matières et d'énergie et de calculer leurs impacts environnementaux. Le but était de sensibiliser les décideurs et la population aux conséquences environnementales qui découlent du fonctionnement du métabolisme urbain. Ainsi, la méthode vise à comptabiliser l'ensemble des flux qui traversent le territoire afin de pouvoir quantifier le plus précisément possible l'ensemble des impacts. (Moore et autres, 2013)

La méthode préconisée par les chercheurs de cette étude fait l'inventaire des flux de matières et d'énergie en adoptant l'approche ascendante. Cette approche permet donc de mieux comprendre la circulation des flux physique sur le territoire. Pour mettre en œuvre la méthode d'analyse du métabolisme urbain, l'étude a débuté par définir les délimitations du système. Ensuite, elle a identifié les classes et sous-classes de matières et d'énergie qui traversent le territoire. Enfin, elle a procédé à la compilation des données. Étant donné que l'étude doit compiler plusieurs données désagrégées, cette phase a été la plus longue. Or, contrairement au Québec, la Colombie-Britannique possède plus de bases de données régionales ce qui a favorisé la compilation des données pour la ville de Vancouver. De surcroît, pour conserver une bonne traçabilité des données utilisées, l'étude fait référence à un fichier supplémentaire sur les données employées. (Moore et autres, 2013)

La présentation des résultats ne permet pas de bien voir la circulation des flux sur le territoire, car l'étude s'est concentrée sur la présentation des résultats d'évaluation des impacts environnementaux (Moore et autres, 2013). Cependant, cette méthode permet de comprendre comment les flux circulent à l'intérieur du territoire.

### **3.2.10. Adaptation de la méthode Baccini et Brunner 1991 (Genève)**

Les projets d'AFM qui se basent sur la méthode de type ascendant de Baccini et Brunner 1991 sont rares. En effet, à ce jour seulement deux études ont utilisé cette approche méthodologique, soient le canton de Genève (Emmenegger, 2003) et Birmingham (Hunt et autres, 2014). Cette méthode est rarement privilégiée en raison du niveau de précision nécessaire dans les données (EcoRes, 2015). Le projet de métabolisme du canton de Genève a fait office de référence pour la réalisation d'AFM en raison de la rigueur des données, l'appropriation et la concrétisation par le Canton des mesures pratiques proposées par l'étude. Par conséquent, cette étude sera utilisée à titre de référence dans la section qui suit.

Le canton de Genève possède une certaine autonomie législative et réglementaire qui lui confère le pouvoir de mieux contrôler la mise en place de projets d'économie circulaire sur le territoire. L'activité économique principale de ce canton est le secteur tertiaire qui représente plus de 80 % (activités de services). Il y a aussi quelques activités agricoles et industrielles comme l'horlogerie, la chimie fine et l'agroalimentaire. (Emmenegger, 2003)

L'engagement de Genève vers une démarche d'AFM découlait d'un désir à améliorer les performances environnementales et surtout à mettre en place des projets d'écologie industrielle sur le territoire. De ce fait, l'agenda 21 de ce canton stipule à l'article 12 que « l'état doit inciter la mise en place de synergies entre les acteurs économiques » (Emmenegger, 2003). Ainsi, de façon plus précise, le bilan métabolique avait pour objectifs de comprendre le fonctionnement physique du territoire, d'identifier les flux à enjeux stratégiques et de définir des actions orientées vers certaines filières pour répondre à ces enjeux (Emmenegger, 2003).



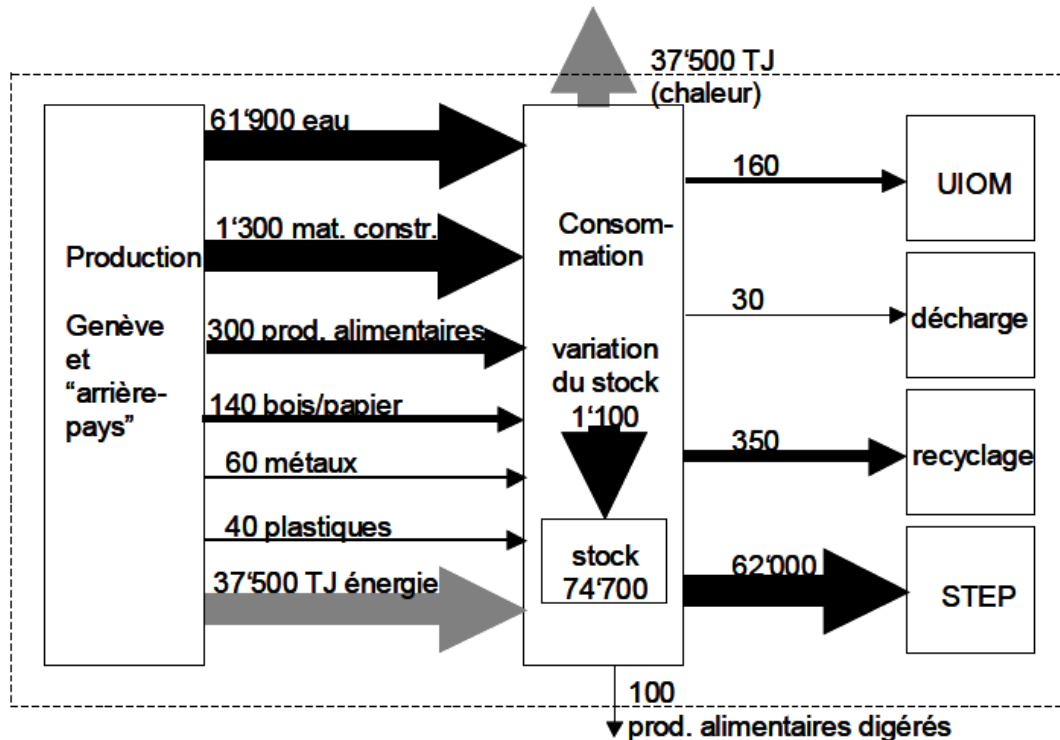
La méthode Baccini et Brunner a été utilisée dans cette étude. Les flux étudiés sont les matériaux de construction, les produits alimentaires, l'eau, le bois et papier, les métaux, les plastiques et l'énergie. Les procédés choisis représentent les trois secteurs économiques ainsi que les ménages. Pour faciliter la récolte des données et avoir des résultats plus pertinents, les secteurs économiques ont été différenciés en sous-procédés, présentés dans le tableau 3.7. Il est à noter que l'étude distingue séparément le traitement des déchets (usine d'incinération, station d'épuration, décharge et recyclage). (Emmenegger, 2003)

**Tableau 3.7 : Procédés et sous-procédés utilisés pour l'AFM du Canton de Genève** (inspiré de Emmenegger, 2003)

Procédé	Sous-procédé
Secteur primaire	Industries extractives Agriculture, sylviculture
Secteur secondaire	Production d'électricité, gaz, eau Construction Industries manufacturières (fabrication de machines et d'équipement, fabrication d'équipements électroniques et de précision (horlogerie), édition, industrie chimique
Secteur tertiaire	Commerce, réparation Transports Banques, assurances et autres services Assainissement, voirie, et gestion des déchets

Les données nécessaires pour la réalisation de cette méthode se retrouvent très désagrégées ce qui rend le processus de compilation long et ardu. Souvent, les données manquantes doivent être obtenues par des questionnaires et des entretiens auprès des acteurs du territoire. De plus, les données lacunaires doivent parfois être complétées par des estimations. Pour traiter les données compilées, le logiciel STAN est utilisé. Ce logiciel permet de calculer automatiquement les stocks et d'illustrer la circulation des flux au sein du système étudié. La figure 3.7 présente le bilan du métabolisme urbain du canton de Genève. La schématisation du bilan global permet de bien visualiser les différents flux et leurs niveaux d'importance. La présente étude a permis de déterminer les flux et les stocks les plus importants dans le canton de Genève, d'identifier les indicateurs les plus importants comme l'émission de gaz à effet de serre (GES) et d'identifier les secteurs où il est particulièrement pertinent d'agir. L'identification des indicateurs-clés où il faut concentrer les efforts pour réduire la quantité de GES émis dans l'atmosphère ainsi que les secteurs d'activités économiques où il faut mettre en place des stratégies de réduction a permis de formuler des actions concrètes et ciblées.

En somme, les résultats de l'AFM ont permis de formuler des recommandations pour améliorer la performance environnementale du canton. D'abord, l'étude a recommandé d'établir une stratégie visant à diminuer la consommation d'énergie pour le chauffage et l'électricité. Ensuite, elle a suggéré d'augmenter la capacité des installations de méthanisation des déchets organiques et enfin elle a conseillé d'améliorer l'efficacité du recyclage des matériaux de construction (Emmenegger, 2003).



**Figure 3.7 : Résultats totaux de la consommation de ressources pour le Canton de Genève** (tirée de Emmenegger, 2003, p. 8)

### 3.3. Enseignements des expériences étrangères pour l'analyse de flux de matières au Québec

Les exemples étrangers présentés dans ce chapitre permettent de tirer diverses leçons pour la réalisation d'AFM au Québec. Une synthèse des conclusions tirées de la revue de littérature est présentée au tableau 3.8. Tout d'abord, chaque cas d'étude souligne bien la difficulté d'obtenir des données appropriées et précises. En effet, plusieurs études ont dû avoir recours à des estimations ce qui a grandement diminué la qualité des données compilées. De plus, lorsqu'il était possible d'aller chercher des données via des questionnaires et des entretiens, les taux de réponse étaient faibles et parfois sans retour. Par ailleurs, dans certaines études étrangères, la traçabilité des données utilisées s'avère manquante ce qui empêche les lecteurs d'apprécier les résultats. En addition, le niveau de désagrégation des données à collecter est très différent d'une méthode à l'autre. Les méthodes qui adoptent une approche ascendante nécessitent l'utilisation de données très désagrégées, c'est-à-dire qu'elles se retrouvent dispersées au sein des différents acteurs du territoire. La compilation de ces données est donc plus longue et plus ardue. Or, ces études permettent d'expliquer clairement le fonctionnement du territoire concernant sa consommation en ressources. Les expériences étrangères ont aussi permis de voir que la sélection des flux mesurés varie en fonction des méthodes préconisées. Certaines méthodes se concentrent uniquement sur les flux de matières les plus importants ou les plus impactant, tandis que d'autres méthodes mesurent absolument tous les flux qui traversent le territoire.

**Tableau 3.8 : Comparaison des méthodes régionales d'analyse de flux de matières**

Modèle méthodologique	Objectifs*	Niveau de désagrégation des données	Niveau de complexité de la méthode	Niveau d'adaptabilité de la méthode en fonction des données disponibles	Particularités méthodologiques
Eurostat 2001 adaptée à l'échelle régionale (Bourgogne)	1-2-5	Moyen	Moyen	Faible	Ne comptabilise pas l'eau et l'énergie
Eurostat 2001 adaptée à l'échelle régionale et indicateur LEPO (Paris)	1-2-5	Moyen	Moyen	Faible	Ne comptabilise pas l'eau et l'énergie Utilise l'indicateur LEPO
Analyse du métabolisme urbain (UMAn) (Lisbonne)	1-2-5	Moyen	Moyen	Faible	Ne comptabilise pas l'eau et l'énergie Plus de catégories de matières
Adaptation hybride Eurostat 2001 et Baccini et Brunner 1991 (Bruxelles)	1-2-3-5	Moyen	Moyen	Moyen	Comptabilise l'eau et l'énergie Utilisation d'unités différentes
« Input-output » (Toronto)	2-4-5	Faible	Facile	Élevé	Aucun indicateur Flux majoritaires
Analyse de réseau (Danemark)	2-3-4-5	Élevé	Moyen	Élevé	Un flux en particulier
Analyse de l'émergie (Montréal)	1	Moyen	Élevé	Élevé	Plusieurs indicateurs uniques Utilisation de données monétaires
Analyse de l'éco-efficacité (Shenzhen)	1	Faible	Faible	Élevé	Aucun indicateur
Analyse du métabolisme urbain (Vancouver)	2-3-4-5	Élevé	Moyen	Élevé	N. A.
Adaptation de Baccini et Brunner 1991 (Genève)	2-3-4-5	Élevé	Moyen	Élevé	N. A.
<p>*Légende :</p> <p>1- Évaluer la durabilité du territoire  2- Améliorer les performances environnementales  3- Comprendre la circulation des flux à l'intérieur du territoire</p> <p>4- Améliorer les performances environnementales d'un ou de quelques flux majoritaires  5- Sensibiliser la population</p>					

Tout compte fait, ce retour d'expériences a permis de mettre en lumière deux éléments importants :

- l'importance de choisir une méthode qui permet d'obtenir les types de résultats souhaités et,
- la disponibilité des données qui influence souvent le choix de la méthode.

Les expériences ont montré que les résultats découlant de la réalisation de l'AFM apportent rarement des bénéfices concrets et mesurables sur l'optimisation de l'utilisation des ressources sur le territoire. En vérité, certaines études comme celle réalisée à Toronto, n'ont pas choisi une méthode cohérente avec les objectifs identifiés. Par conséquent, les résultats n'ont pas permis de mettre en œuvre tous les projets qui étaient initialement désirés. De plus, les acteurs qui pourraient tirer bénéfices des résultats de l'AFM ne sont que très rarement consultés en amont. La consultation de ces acteurs pourrait permettre d'orienter le choix de la méthode en fonction d'objectifs collectifs et mobiliser les acteurs dès le départ afin de favoriser leur participation dans la collecte des données.

## **4. L'ANALYSE DE FLUX DE MATIÈRES : SOURCES DE DONNÉES POUR LE QUÉBEC**

Les enseignements des expériences étrangères en termes de réalisation d'AFM ont montré que la disponibilité des données est souvent un élément crucial à prendre en compte lors du choix de la méthode. Le chapitre qui suit vise dans un premier temps à présenter les données qui sont disponibles pour la réalisation d'AFM au Québec et les stratégies pour collecter les données manquantes. Dans un deuxième temps, un constat sur les sources de données québécoises disponibles pour l'AFM sera présenté.

### **4.1. Données disponibles et stratégies pour les données manquantes**

Comme mentionné précédemment, il existe deux grandes familles de méthodes : les méthodes de type descendant et les méthodes de type ascendant. Les sources de données nécessaires pour la méthode de type descendant se trouvent souvent disponibles auprès des entités administratives, car celles-ci ont l'obligation légale de compiler certaines informations (Barles, 2009). Les régions québécoises sont donc favorisées en ce sens, car elles possèdent trois, voire quatre niveaux administratifs : le fédéral, le provincial, le municipal et les MRC. À l'inverse de la méthode de type descendant, les sources de données pour la méthode de type ascendant se trouvent, dans la plupart des cas, dispersées entre les différents acteurs du territoire (EcoRes, 2015 et Emmenegger, 2003). Ces données sont donc plus difficiles à collecter, car chaque acteur doit être contacté.

Le sous-chapitre qui suit présentera les sources de données qui peuvent être utilisées pour réaliser une AFM au Québec. Lorsqu'aucune source de donnée québécoise n'est identifiée, des stratégies pour collecter les données manquantes seront proposées.

Pour présenter ces sources de données, une classification a été développée. Cette classification s'inspire des catégories de matières identifiées dans la méthode Eurostat 2001 et des catégories de matières utilisées dans la méthode du canton de Genève (Eurostat, 2001 et Emmenegger, 2003). Par conséquent, les sources de données disponibles seront présentées selon la classification suivante : biomasse (agricole, sylvicole et aquatique), eau, énergie, minerais métallique et non métallique, plastique, émissions dans l'air, rejets dans l'eau, importations et exportations et autres flux (extraction intérieure inutilisée, flux indirects associés aux importations et exportations et éléments d'équilibrage).

#### **4.1.1. Biomasse**

La biomasse est une grande catégorie de matières qui regroupe tous les produits agricoles, sylvicoles et aquatiques. La biomasse issue de l'agriculture comprend les céréales, les racines et tubercules, les cultures sucrières, les légumineuses, les noix, les cultures oléagineuses, les légumes, les fruits, les fibres et les résidus de récolte (Eurostat, 2001). Pour collecter les données sur ces matières, plusieurs sources sont disponibles. À l'international, l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture compile les quantités de produits agricoles exportées et importées pour le Canada (Food and Agriculture

Organization of the United Nations (FAOstat), 2014). En ce qui a trait aux quantités de produits agricoles consommés par les habitants au Québec, la base de données CANSIM peut être utilisée pour consulter des tableaux qui présentent la consommation par type d'aliment et par canadien (Canada. Statistique Canada, 2014). CANSIM est la principale base de données socio-économique de Statistique Canada et elle est mise à jour quotidiennement pour offrir les données les plus récentes et fiables (Canada. Statistique Canada, 2014). Cependant, elle offre souvent des données monétaires ce qui est moins intéressant lors de la compilation de données en termes de masse. Le gouvernement du Québec quant à lui, offre plusieurs publications via le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) et l'ISQ. Le MAPAQ enquête chaque année sur les tendances de consommation des Québécois et dernièrement, il a publié le bottin statistique de l'alimentation qui dévoile les quantités d'aliments consommées par les citoyens québécois (Québec. Ministère de l'Agriculture, Pêcheries et Alimentation (MAPAQ), 2015). Pour obtenir les données sur la production agricole, il faut consulter les données publiées par l'ISQ par exemple, le « Profil sectoriel de l'industrie bioalimentaire au Québec » (Québec. Institut de la statistique du Québec (ISQ), 2014a). Dans ce document, les quantités de production agricole sont disponibles en fonction des régions administratives.

Tout compte fait, plusieurs sources de données sont accessibles concernant l'importation, la production, la consommation et l'exportation de biomasse agricole. Or, peu de bases de données fiables quantifient les flux de produits agricoles en fin de vie, aussi appelés les matières organiques résiduelles (MOR). Une première approche pourrait consister à faire l'inventaire des installations de récupération, recyclage et valorisation des MOR présentes sur le territoire d'étude. Pour ce faire, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) propose sur son site Internet, un répertoire québécois des projets confirmés qui traitent les MOR au Québec (Québec. MDDELCC, 2015b). Le site présente aussi les quantités de matières traitées et les rejets engendrés par chacun de ces projets (Québec. MDDELCC, 2015b). Une seconde approche pourrait consister à utiliser le répertoire des récupérateurs, recycleurs et valorisateurs de RECYC-QUÉBEC pour identifier des acteurs de la gestion des MOR et les contacter pour obtenir plus d'information sur leurs activités (Québec. RECYC-QUÉBEC, 2012). Il est à noter que certaines nouvelles installations peuvent manquer au répertoire, car celui-ci date de 2012 et l'industrie du traitement des MOR est en plein essor au Québec. Une troisième approche pourrait consister à contacter la municipalité qui récolte parfois des données concernant les taux de récupération et de recyclage. Par exemple, la CMM a créé une carte interactive qui présente les taux de récupération des MOR par municipalité (Communauté métropolitaine de Montréal (CMM), 2015).

Dans la méthode Eurostat 2001, les résidus de récoltes sont comptabilisés (Eurostat, 2001). Ces flux représentent par exemple la paille de céréales qui peut être utilisée dans l'économie. Pour calculer ces résidus de récolte, le guide Eurostat 2009 fournit des taux de récupération (Eurostat, 2009).

La biomasse issue de la sylviculture comprend le bois industriel et le bois de chauffage. Pour récolter les données sur la production du bois au Québec, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) fournit des renseignements concernant les volumes de bois récoltés, importés et exportés, et ce par région administrative (Québec. Ministère de la Forêts, Faune et Parcs (MFFP), 2013). Cependant, il est difficile de faire la distinction entre le bois industriel et le bois de chauffage. Pour être en mesure de distinguer ces deux catégories, il faut avoir recours à des enquêtes auprès des industries et des ménages du territoire.

Il est à noter que les quantités de biomasse issue de la sylviculture sont souvent fournies en volume et non en masse. Le tableau 4.1 présente les taux de conversion en distinguant les feuillus et les conifères (Eurostat, 2009). Lorsque l'espèce est inconnue, la méthode Eurostat convient qu'un facteur de conversion de 0,60 tonne par m<sup>3</sup> peut être utilisé (Eurostat, 2009).

**Tableau 4.1 : Facteurs de conversion pour le bois à 15 % d'humidité** (tiré de France. MEDDE, 2014, p. 30)

Espèce	Densité en tonne par m <sup>3</sup>
Conifères	0,52
Feuillus	0,68

Pour obtenir des informations concernant la fin de vie du bois, le site Internet de RECYC-QUÉBEC contenant le répertoire des récupérateurs, recycleurs et valorisateurs peut être utilisé afin d'identifier les acteurs à consulter (Québec. RECYC-QUÉBEC, 2012).

La biomasse aquatique comprend la capture du poisson et l'extraction d'animaux ou de plantes aquatiques. Au Canada, les poissons d'eau salée sont de compétence fédérale et les poissons d'eau douce sont de compétence provinciale. Par conséquent, Pêche et Océans Canada et le MFFP sont les deux ministères à consulter pour obtenir de l'information concernant la biomasse aquatique. Pêche et Océans Canada compile les quantités en tonne de poisson issus de l'aquaculture, la pêche commerciale, la pêche récréative et du commerce par province (Pêche et Océans Canada, 2015). De plus, ce ministère fédéral fournit des données concernant la consommation pour différents types de poissons par Canadien (Pêche et Océans Canada, 2015).

#### 4.1.2. Minerai métallique et non métallique

Les minerais métalliques comprennent le fer, les métaux non ferreux, le cuivre, le nickel, le plomb, le zinc, l'étain, l'or, l'argent, la platine, la bauxite et l'uranium (Eurostat, 2001). Les minerais non métalliques quant à eux, comprennent le marbre, le granite, le grès, la craie, le dolomie, l'ardoise, les minéraux d'engrais chimiques, le sel, le calcaire, le gypse, les argiles, le kaolin, le sable, le gravier et les matériaux terreux d'excavation (Eurostat, 2001). Les quantités de minerais importés et exportés sont publiées par le MERN sur leur site Internet (Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN), 2013b). L'ISQ compile dans plusieurs bilans les quantités de minerais qui sont produits au Québec par région

administrative et par mine (Québec. ISQ, 2014b). Il n'existe pas de sources de données pour quantifier les minerais qui entrent sur le territoire sous forme de produit tel qu'un véhicule, un appareil électrique, etc. Par conséquent, il faut avoir recours à des estimations en posant des hypothèses. Pour quantifier les flux de minerais en fin de vie, une approche pourrait consister à faire l'inventaire des installations de récupération, recyclage et valorisation de minerais présents sur le territoire d'étude. Pour ce faire, le site Internet de RECYC-QUÉBEC qui offre un répertoire des récupérateurs, recycleurs et valorisateurs québécois peut être consulté (Québec. RECYC-QUÉBEC, 2012).

#### **4.1.3. Plastique**

Les plastiques comprennent l'ensemble des sept classes de plastiques et se trouvent dans les emballages, les plastiques de la construction (fenêtres, etc.), dans les véhicules, dans les meubles ainsi que dans les appareils ménagers et électroniques (Emmenegger, 2003). Il n'existe pas de base de donnée qui puisse informer sur les quantités de plastiques qui sont importés, produits, rejetés et exportés. Ainsi, pour l'AFM il faut estimer la répartition d'utilisation (véhicules, bâtiments, appareils électriques, mobilier, emballage, appareil ménager, industrie) pour chaque secteur et les ménages (Emmenegger, 2003). Tout comme pour les minerais métalliques et non métalliques, il n'existe pas de sources de données pour quantifier les plastiques qui entrent sur le territoire sous forme de produit. Il faut donc faire comme pour les minerais et estimer les quantités en posant des hypothèses. De plus, pour estimer les flux de plastiques, la même approche que pour les minerais est suggérée, soit d'identifier les installations de récupération, recyclage et valorisation de plastiques via l'inventaire de RECYC-QUÉBEC et contacter ces acteurs (Québec. RECYC-QUÉBEC, 2012).

#### **4.1.4. Eau**

Pour faire l'inventaire des flux d'eau sur un territoire, il faut identifier les quantités qui sont produites, importées, distribuées, consommées, traitées et exportées. Les municipalités ont les compétences juridiques suivantes en ce qui a trait à la gestion de l'eau au Québec : la fourniture de l'eau potable et l'assainissement des eaux usées (de Ladurantaye, 2010). Par conséquent, pour obtenir les quantités d'eau mentionnées plus haut, il faut consulter les sites Internet des municipalités et, au besoin, les contacter. Pour ce qui a trait à la consommation d'eau par personne, le ministère des Affaires municipales et Occupation du territoire (MAMROT) publie des rapports annuels sur l'usage de l'eau potable par les citoyens québécois (Québec. Affaires municipales et Occupation du territoire (MAMROT), 2013).

#### **4.1.5. Énergie**

L'énergie comprend les combustibles fossiles et l'électricité (Emmenegger, 2003). Le lignite, la houille, les schistes, les sables bitumineux, la tourbe, le pétrole brut, les gaz naturels liquides et le gaz naturel font partie des combustibles fossiles qui doivent être comptabilisés lors d'une AFM (Eurostat, 2001). Il est à noter que par l'application des méthodes qui découlent d'Eurostat 2001, les unités doivent être converties en tonne de matières. Par conséquent, lorsque les gaz naturels sont présentés en gigawattheure (GWh),



il est possible d'utiliser le facteur de conversion suivant : 1 kilotonne = 1000 tonnes = 16,6 GWh (France. MEDDE, 2014). De plus, il existe un site Internet américain privé qui offre un outil pour convertir les différents types d'énergie sous différentes unités (Energy Information Administration (EIA), 2014).

Au niveau du fédéral, l'Association canadienne des carburants et l'Office de l'efficacité énergétique (OEE) sont source de données en ce qui a trait à la production de carburants par les industries canadiennes et à la consommation d'énergie par les industries et les ménages (Association canadienne des carburants, 2014 et Canada. Office de l'efficacité énergétique (OEE), 2014). Au niveau du provincial, le MERN publie des rapports sur les quantités de production, de consommation, d'importation et d'exportation des différentes sources d'énergie au Québec (Québec. MERN, 2013c). De plus, la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) publie aussi des rapports qui concernent le nombre de véhicules en circulation, le type de carburant utilisé par ces véhicules, et ce par région administrative (Québec. Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ), 2013). Il existe donc plusieurs sources de données disponibles pour l'énergie. Il est à noter que le récent rapport « État de l'énergie au Québec » présente l'inventaire de ces flux d'énergie à l'échelle de la province (Pineau et Whitmore, 2015).

#### **4.1.6. Émissions dans l'air**

Les émissions dans l'air comprennent le dioxyde de carbone, le méthane, le protoxyde d'azote, les oxydes d'azote, les carbones hydrofluorés, les perfluorés, les hexafluorures de soufre, le monoxyde de carbone, le dioxyde de soufre, l'ammoniac, les métaux lourds, les polluants organiques persistants et les particules (Eurostat, 2009). Des inventaires fédéraux et provinciaux peuvent être consultés pour compiler les données qui concernent les émissions dans l'air. Au fédéral, l'inventaire des émissions de polluants atmosphériques (IEPA) fournit les quantités d'émissions de différents polluants par province (Canada. Environnement Canada, 2015a). Au provincial, l'inventaire québécois des émissions atmosphériques (IQÉA) compile l'ensemble des données sur les émissions atmosphériques (Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2011). Ces deux inventaires fournissent des données générales pour le Québec et non des données en fonction des régions. Une première approche pour obtenir les émissions à l'échelle d'une région consiste à régionaliser les données provinciales ou fédérales en utilisant le prorata de la population pour les émissions liées aux ménages, ou le prorata de l'emploi dans les différentes secteurs d'activités économiques pour les émissions liées aux différentes industries (France. MEDDE, 2014).

#### **4.1.7. Rejets dans l'eau**

Les rejets dans l'eau comprennent l'azote, le phosphore, les métaux lourds, les substances organiques et les immersions de matériaux en mer (Eurostat, 2009). Pour l'AFM, il s'agit de comptabiliser les quantités de polluants rejetés chaque année dans l'eau, et non pas les concentrations de polluants observées dans les masses d'eau. En raison de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement 1999* qui stipule que les propriétaires ou exploitants d'installations qui répondent aux critères de déclarations doivent

produire une déclaration de leurs rejets dans l'eau à l'Inventaire national des rejets de polluants (INRP), il est possible d'identifier les quantités de polluants rejetés par les entreprises (Canada. Environnement Canada, 2015b). Cependant, les entreprises qui rejettent des polluants sur le territoire étudié doivent être préalablement identifiées.

#### **4.1.8. Importations et exportations**

Cette catégorie comprend l'ensemble des matières qui peuvent entrer ou sortir du système socio-économique du territoire. Ainsi, elle regroupe la biomasse, l'eau, l'énergie, les minerais et les plastiques. Plusieurs sources de données ou stratégies de collecte des données ont donc déjà été présentées dans les sections ci-dessous. Or, certaines sources de données sont spécialisées uniquement dans les importations et les exportations et il peut être intéressant de les consulter. Statistique Canada propose des documents intéressants qui présentent les importations et les exportations canadiennes annuelles de plusieurs matières. De plus, l'ISQ propose aussi des documents, dans la Banque de données statistiques officielles sur le Québec, qui présentent les importations et exportations québécoises. Pour obtenir les données pour les territoires, la situation est plus difficile. En effet, il existe rarement des mécanismes de compilation des données relatives aux exportations et importations dans les municipalités et les MRC. De ce fait, il est nécessaire d'entreprendre une démarche laborieuse et d'enquêter auprès des acteurs du territoire afin de mesurer les quantités qui entrent et qui sortent.

#### **4.1.9. Autres flux uniquement comptabilisés dans la méthode Eurostat 2001**

Cette section comprend les extractions intérieures inutilisées, les flux indirects associés aux importations et exportations et les éléments d'équilibrage. Ces flux ne sont pas toujours quantifiés dans les AFM. Or, la méthode Eurostat 2001, souvent employée, calcule ces flux. Les sources de données utilisées pour compiler ces informations seront présentées dans le texte qui suit.

L'extraction intérieure inutilisée de matières s'accompagne de pertes ou de déplacements de matières, qui ne sont pas valorisées économiquement (Eurostat, 2001). Elles comprennent les extractions inutilisées issues de l'exploitation minière, les résidus de récoltes restées en champ, les branches et feuilles déposées au sol après la coupe d'arbres, les produits de pêche rejetés en mer, les terres d'excavation, les boues de dragage et l'érosion des terres arables (France. MEDDE, 2014). L'extraction intérieure inutilisée peut être estimée à l'aide de coefficients techniques appliqués aux statistiques physiques des activités concernées (matière extraite ou récoltée, longueur de réseau de transport ou surface de logement construit). Jusqu'à présent, le service de l'observation et des statistiques (SOeS) en France s'appuyait exclusivement sur des coefficients élaborés par le *Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH*. Cependant, seuls 40 % des quelques 130 matières extractibles recensées ont cependant un coefficient technique. Cela peut induire une possible sous-estimation de la part non utilisée de l'extraction domestique. Le SOeS en France a fait réaliser des travaux complémentaires dans le but

d'affiner la connaissance de ces flux cachés. Les coefficients disponibles pour la France sont disponibles auprès du SOeS. (France. MEDDE, 2014)

Les flux indirects associés aux importations et exportations représentent :

« Tout matériau ou produit importé ou exporté pèse davantage, en termes de flux physiques mobilisés par le système socio-économique, que son poids propre apparent. Des terres, des combustibles énergétiques et d'autres matériaux ont été mobilisés (extraits, déplacés, rejetés ou consommés) sur le territoire ou à l'étranger, pour sa fabrication et son acheminement. Les flux indirects sont les matières qui ont été mobilisées pour la fabrication d'un produit ou d'un service prêt à être importés ou exportés en déduisant la masse du produit lui-même. Ces flux ne sont pas physiquement importés ou exportés. » (France. MEDDE, 2014, p. 73)

Pour calculer ces flux, le guide référentiel « Comptabiliser les flux de matières dans les régions et les départements » présente une marche à suivre inspirée de la méthode Eurostat, 2001 (France. MEDDE, 2014).

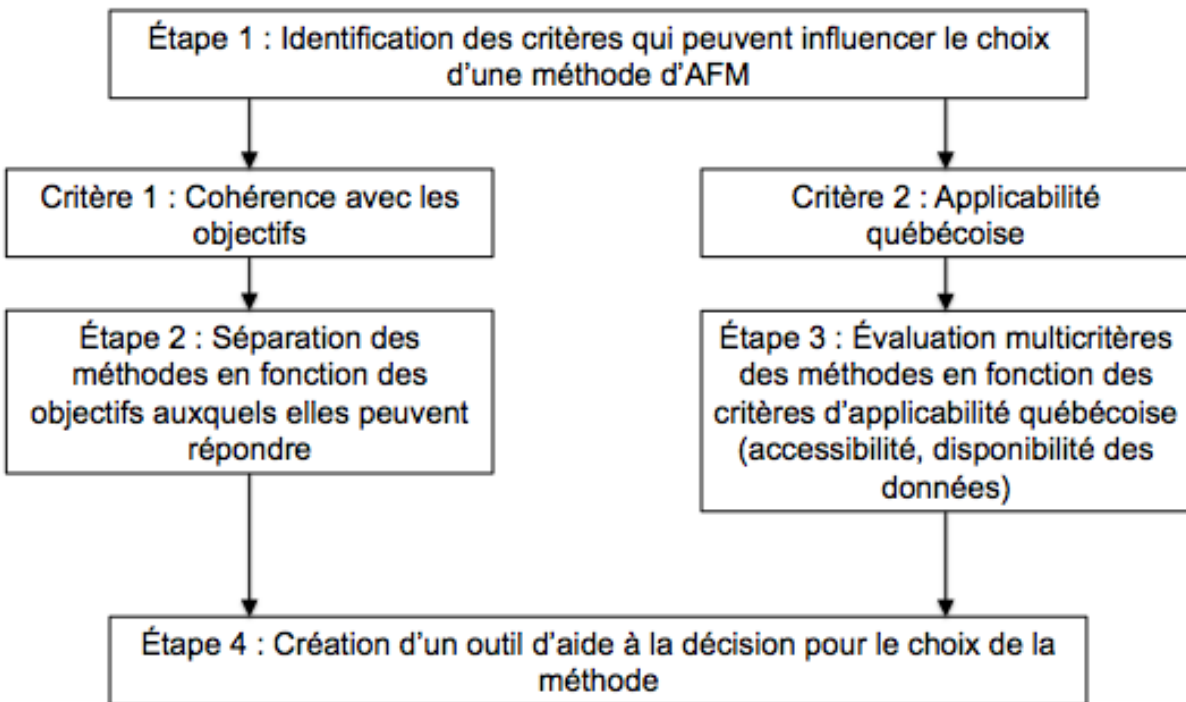
Pour ce qui concerne les éléments d'équilibrage, ils comprennent, en entrée, l'oxygène pour les processus de combustion, l'oxygène pour la respiration (bétail et humain) et l'azote pour le procédé Haber-Bosch. En sortie, ils comprennent la vapeur d'eau pour la combustion et les émissions de dioxyde de carbone et de vapeur d'eau dues à la respiration (bétail et humain) (Eurostat, 2001). Le guide référentiel sur la « Comptabilité des flux de matières dans les régions et les départements » présente des consignes méthodologiques qui permettent de calculer ces éléments d'équilibrage (France. MEDDE, 2014).

#### **4.2. Constat sur les sources de données québécoises pour l'analyse de flux de matières**

Les sources de données québécoises présentées dans ce chapitre permettent de tirer diverses leçons pour la réalisation d'AFM au Québec. Tout d'abord, les données québécoises se retrouvent sur plusieurs plateaux administratifs (fédéral, provincial, municipal et MRC). Ces plateaux ne publient pas tous à la même fréquence et n'utilisent pas toutes les mêmes années de référence. Par conséquent, il peut être difficile de choisir une année de référence pour l'AFM au Québec, car certaines données ne sont pas disponibles pour toutes les années. Par ailleurs, la majorité des sources de données disponibles se retrouvent à l'échelle du Canada et du Québec et non pour les régions. Il est donc obligatoire d'avoir recours à des estimations ou à des enquêtes sur le terrain (questionnaires et entretiens) pour quantifier les flux de matières régionaux. Ces approches prennent beaucoup de temps et risquent d'être ralenties par la confidentialité des données dans les entreprises. De plus, l'identification des sources de données disponibles au Québec a permis de remarquer que lorsque les données sont disponibles à l'échelle régionale, elles le sont en fonction des régions administratives québécoises. Il peut donc être intéressant d'explorer la possibilité d'utiliser les régions administratives comme périmètre d'étude pour l'AFM au Québec. Enfin, ce bilan sur les sources de données disponibles au Québec a permis de mettre en évidence le besoin d'améliorer les données disponibles pour favoriser l'application d'études d'AFM.

## 5. L'ANALYSE DE FLUX DE MATIÈRES : CHOIX DE MÉTHODE

Compte tenu des nombreuses méthodes d'AFM présentées dans le chapitre 3 et des sources de données limitées au Québec présentées au chapitre 4, il convient de développer une approche qui vise à orienter les utilisateurs vers la méthode la plus appropriée. Les ministères, les chercheurs, les entreprises et les municipalités doivent choisir la méthode qui leur permet d'obtenir des résultats utiles et fiables. L'OCDE souligne l'importance de bien choisir un modèle de départ qui considère les intentions des utilisateurs, les disponibilités institutionnelles, les collaborations nécessaires et les données disponibles, sans toutefois s'engager dans une démarche exagérément ambitieuse de compilation des données qui risque de devenir une fin en soi (OCDE, 2008). Le chapitre qui suit vise donc à présenter une approche qui permettra aux régions québécoises d'orienter leur choix de méthode pour qu'elle leur soit des plus profitable possible. La méthodologie préconisée pour évaluer ces méthodes d'AFM repose sur quatre étapes qui sont présentées dans la figure 5.1.



**Figure 5.1 : Méthodologie préconisée pour évaluer les méthodes d'analyse de flux de matières**

La première étape consiste à identifier les critères qui peuvent influencer le choix d'une méthode d'AFM par rapport à une autre. Les deux critères identifiés sont : la cohérence avec les objectifs et l'applicabilité québécoise. La deuxième étape découle du premier critère et consiste à séparer les méthodes en fonction des objectifs auxquels elles peuvent répondre. Ceci permettra aux utilisateurs d'éliminer certaines méthodes qui ne cadrent pas avec les objectifs qu'ils souhaitent atteindre. La troisième étape quant à elle découle du second critère et consiste à évaluer les méthodes en fonction des critères

d'applicabilité québécoise. Cette étape permettra d'attribuer à chaque méthode un niveau d'applicabilité dans le contexte québécois. Enfin, la quatrième étape consiste à utiliser les résultats de l'étape deux et de l'étape trois pour créer un outil d'aide à la décision qui orientera les utilisateurs vers la méthode la plus appropriée pour eux. De plus, l'évaluation des méthodes permettra de formuler des recommandations quant à la mise en place de dispositifs québécois favorisant la démarche d'AFM.

## **5.1. Identification des critères qui influencent le choix d'une méthode d'analyse de flux de matières**

Avant d'évaluer les méthodes pour comptabiliser les flux de matières présentées au chapitre 2, il convient de déterminer les critères pour choisir une méthode. Ces critères sont inspirés des critères utilisés dans la « Revue de la littérature sur les comptes des matières résiduelles solides » réalisée par l'ISQ pour comparer les modèles de comptabilité des flux de matières (Québec. Institut de la statistique du Québec (ISQ), 2011). Pour s'assurer que la méthode choisie entraîne une application concrète, utile et pragmatique, les critères suivants ont été sélectionnés : cohérence avec les objectifs et applicabilité québécoise.

### **5.1.1. Cohérence avec les objectifs**

Les résultats d'une AFM peuvent être utilisés pour plusieurs choses dont établir des constats sur la durabilité du territoire, réaliser des études et travaux de recherche sur des flux en particulier, orienter des politiques publiques, comparer les performances du territoire avec d'autres études et mettre en place des projets d'écologie industrielle et territoriale. De plus, les résultats peuvent être utilisés pour évaluer des tendances en termes de secteur d'activité, par catégorie de matières, etc. Il faut donc s'assurer que la méthode choisie puisse créer les résultats souhaités pour en tirer les bénéfices désirés. La cohérence avec les objectifs est donc le critère le plus important pour choisir la méthode, car si la méthode ne permet pas d'obtenir les résultats voulus, il vaut peut-être mieux ne pas réaliser l'AFM (OCDE, 2008).

### **5.1.2. Applicabilité québécoise**

Certains modèles peuvent apparaître attrayants étant donné leur caractère exhaustif. Par exemple, dans un modèle idéal, tous les flux de matières seraient calculés, et ce pour l'ensemble des secteurs et acteurs présents sur le territoire. Par contre, pour des raisons évidentes (ex. faisabilité, coûts), il est nécessaire de prendre en considération l'accessibilité du modèle et la disponibilité des données nécessaires dans un contexte québécois. L'applicabilité québécoise jouera ainsi un rôle important dans le choix de la méthode.

## **5.2. Séparation des méthodes en fonction des objectifs auxquels elles peuvent répondre**

Pour séparer les méthodes en fonction de leurs objectifs, une liste qui comprend les objectifs principaux pouvant être atteints par la réalisation d'une AFM a d'abord été réalisée. Ensuite, les méthodes ont été séparées dans différentes catégories.

### 5.2.1. Formulation des objectifs d'analyse de flux de matières

Les objectifs derrière la réalisation d'une AFM sont présentés dans le tableau 5.1.

**Tableau 5.1 : Objectifs derrière les méthodes d'analyse de flux de matières et leurs descriptions**

Objectif	Description
Évaluer la durabilité des activités socio-économiques du territoire	La méthode permet d'utiliser des indicateurs qui permettent d'évaluer la durabilité du territoire.
Identifier des pistes de solutions pour améliorer les performances environnementales du territoire	La méthode permet de faire un constat sur l'utilisation des ressources qui permet d'identifier des pistes de solution pour améliorer les performances environnementales. La méthode permet donc par le fait même d'orienter les politiques publiques.
Améliorer la compréhension de la circulation des flux sur le territoire afin d'évaluer la possibilité de mettre en place des projets d'économie circulaire	La méthode permet de mieux comprendre la circulation des flux de matières sur le territoire et donc d'optimiser la gestion des ressources par la mise en œuvre de projets d'économie circulaire précis, tels que des projets d'écologie industrielle et territoriale.
Identifier des pistes de solutions pour améliorer les performances de la gestion d'un ou de quelques flux majoritaires sur le territoire	La méthode permet de se focaliser uniquement sur un ou quelques flux qui sont majoritaires sur le territoire, mais de façon plus approfondie.
Sensibiliser le grand public à l'utilisation responsable des ressources	La méthode permet de communiquer les résultats au grand public dans le but de les sensibiliser à l'utilisation responsable des ressources.

### 5.2.2. Catégories de méthodes

Pour former les catégories de méthodes qui répondent aux mêmes objectifs identifiés dans la section précédente, le tableau 5.2 associe chaque méthode aux objectifs auxquels elle peut répondre. Il est à noter que pour simplifier le tableau, les objectifs ont été numérotés et sont présentés à la page suivante.

**Tableau 5.2 : Identification des objectifs par méthode d'analyse de flux de matières**

Méthodes d'AFM existantes	1	2	3	4	5
Eurostat 2001 adaptée à l'échelle régionale (Bourgogne)	x	x			x
Hybride de Eurostat 2001 et Baccini et Brunner 1991 (Bruxelles)	x	x	x		x
Eurostat 2001 adaptée à l'échelle régionale et indicateur LEPO (Paris)	x	x			x
Méthode « input-output » (Toronto)		x		x	x
Analyse du métabolisme urbain (UMAn) (Lisbonne)	x	x			x
Analyse de réseau (Danemark)		x	x	x	x
Emergy analysis (Isle de Montréal)	x				
Analyse du métabolisme urbain (UMA) (Vancouver)		x	x	x	x
Adaptation de la méthode Baccini et Brunner 1991 (Genève)		x	x	x	x
Analyse de l'éco-efficacité du métabolisme urbain (Shenzhen)	x				

Les objectifs sont les suivants : (1) évaluer la durabilité des activités socio-économiques du territoire, (2) identifier des pistes de solutions pour améliorer les performances environnementales du territoire, (3) améliorer la compréhension de la circulation des flux sur le territoire afin d'évaluer la possibilité de mettre en place des projets d'économie circulaire, (4) identifier des pistes de solutions pour améliorer les performances la gestion d'un ou de quelques flux majoritaires sur le territoire et sensibiliser le grand public à l'utilisation responsable des ressources.

Par conséquent, chaque catégorie présentée au tableau 5.3 répond aux mêmes objectifs. C'est grâce à l'évaluation multicritère des méthodes en fonction de l'applicabilité que l'utilisateur sera en mesure de choisir la méthode la plus appropriée dans la catégorie souhaitée.

**Tableau 5.3 : Catégories de méthodes qui répondent aux mêmes objectifs principaux**

Catégorie A	Catégorie B	Catégorie C	Catégorie D	Catégorie E
Bourgogne Paris Lisbonne	Bruxelles	Toronto	Danemark Genève Vancouver	Montréal Shenzhen

### 5.3. Évaluation multicritère des méthodes en fonction des critères d'applicabilité québécoise

Pour présenter l'évaluation, les critères d'évaluation seront d'abord présentés. Ensuite, les systèmes de cotation et de pondération choisis pour la méthode d'analyse multicritère seront expliqués. Enfin, la grille d'évaluation sera présentée ainsi que les résultats.

#### 5.3.1. Critères d'évaluation de l'applicabilité québécoise

Sans procéder à une analyse détaillée, les critères suivants seront pris en compte pour évaluer les méthodes en fonction de leur applicabilité québécoise : l'accessibilité et la disponibilité des données nécessaires. La disponibilité des données sera elle-même évaluée en fonction de deux critères : l'adaptabilité de la méthode face aux données disponibles et le niveau de désagrégation des données nécessaires. Le tableau 5.4 présente les différents critères ainsi que leur description.

**Tableau 5.4 : Description des critères d'évaluation de l'applicabilité québécoise**

Accessibilité	Disponibilité des données	
	Adaptabilité	Niveau de désagrégation des données nécessaires
Les méthodes d'AFM seront utilisées par plusieurs types d'utilisateurs et leurs niveaux de connaissances sur l'AFM varient. L'accessibilité vise donc à mesurer la simplicité de mise en œuvre de la méthode. Plus la méthode est accessible, plus son application est favorable.	Elle vise à mesurer le niveau de flexibilité des méthodes vis-à-vis les données disponibles. Plus une méthode s'adapte facilement plus son application est favorable.	Lorsque les données à collecter sont très désagrégées, il est long et ardu de les récolter (OCDE, 2008). Par conséquent, moins les données sont désagrégées, plus son application est favorable.

### 5.3.2. Cotation et pondération

La méthode d'analyse multicritère préconisée contient un système de cotation et de pondération. Ainsi, chaque critère se voit attribuer une cote qui sera pondérée en fonction de l'importance du critère dans l'évaluation. En ce qui a trait au système de cotation, le tableau 5.5 présente les différents critères et les descriptions pour chaque cotation associée. L'emploi d'un petit intervalle dans le système de cotation permet d'atténuer la subjectivité liée à l'attribution de cette cote (Caillet, 2003).

**Tableau 5.5 : Description du système de cotation**

<b>Accessibilité</b>	
<b>Cote</b>	<b>Description</b>
1	La méthode est uniquement accessible à des chercheurs ou des personnes ayant un bon niveau de connaissance dans la méthode
2	La méthode est accessible pour tout le monde, mais une formation est nécessaire
3	La méthode est accessible pour tout le monde sans formation nécessaire
<b>Adaptabilité</b>	
<b>Cote</b>	<b>Description</b>
1	La méthode ne peut pas s'adapter en fonction des données disponibles
2	La méthode peut s'adapter légèrement en fonction des données disponibles
3	La méthode peut facilement s'adapter en fonction des données disponibles
<b>Niveau de désagrégation des données nécessaires</b>	
<b>Cote</b>	<b>Description</b>
1	La majorité des données sont désagrégées
2	Les données sont parfois désagrégées
3	Les données ne sont pas désagrégées

Les expériences étrangères ont démontré que la disponibilité des données était un facteur incontournable à considérer lors du choix de la méthode. Par conséquent, une pondération de « 3 » a donc été appliquée à ce critère. La « disponibilité des données » se trouve donc à être trois fois plus importante que l'« accessibilité ». De plus, une autre pondération a été ajoutée au niveau du critère « adaptabilité » (sous-critère de la disponibilité des données). Si une méthode ne peut être adaptée lorsque des données ne sont pas disponibles, celle-ci ne peut tout simplement plus être utilisée. Si les données sont très désagrégées, la compilation des données prendra plus de temps, mais la méthode pourra tout de même être utilisée. Par conséquent, le critère « adaptabilité » aura une pondération de « 2 » par rapport au critère « niveau de désagrégation des données ». L'utilisation d'un système de pondération permet d'approfondir l'analyse et personnaliser la méthode à la problématique (Raumentwicklung, 2007).



### 5.3.3. Grille d'évaluation des méthodes d'analyse de flux de matières

Le tableau 5.6 présente la grille d'évaluation des méthodes. Le score maximal pour le critère « accessibilité » est de 3, tandis que le score maximal pour le critère « disponibilité des données » est de 9. Par conséquent, la disponibilité des données se trouve à être trois fois plus grande que l'accessibilité, ce qui correspond à une pondération de « 3 » désirée.

**Tableau 5.6 : Grille d'évaluation de l'applicabilité des méthodes d'analyse de flux de matières**

Méthodes	Applicabilité								
	Accessibilité	Disponibilité des données						Sous-total	TOTAL
		Adaptabilité			Niveau de désagrégation des données nécessaires				
	Cote	Cote	Pondération	Sous-total pondéré	Cote	Pondération	Sous-total pondéré		
Bourgogne	2	1	2	2	2	1	2	4	6
Paris	2	1	2	2	2	1	2	4	6
Lisbonne	2	1	2	2	2	1	2	4	6
Bruxelles	2	2	2	4	2	1	2	6	8
Toronto	3	3	2	6	3	1	3	9	12
Vancouver	2	3	2	6	1	1	1	7	9
Shenzhen	3	3	2	6	3	1	3	9	12
Montréal	1	3	2	6	2	1	2	8	9
Genève	2	3	2	6	1	1	1	7	9
Danemark	2	3	2	6	1	1	1	7	9

#### 5.3.4. Résultats de l'évaluation

Les résultats pour l'accessibilité montrent que les méthodes de Toronto et de Shenzhen sont les plus simples à mettre en œuvre. En effet, ces deux méthodes ne nécessitent pas de connaissances poussées sur l'AFM, car elles sont les méthodes qui nécessitent le moins de données et les données les plus simples. Toutes les autres méthodes, à l'exception de la méthode de Montréal, nécessitent que les utilisateurs investissent des efforts pour apprendre et s'approprier la démarche d'AFM. Dans le cas de Montréal, la méthode est complexe et nécessite de comprendre des concepts poussés. De ce fait, ce n'est pas tous les utilisateurs qui peuvent entreprendre de réaliser une AFM par la méthode de Montréal.

En ce qui concerne les résultats pour la disponibilité des données, les méthodes de Toronto et de Shenzhen peuvent mieux s'appliquer dans le contexte québécois, car elles ont obtenu un score de 9 sur 9. Dans le cas de Shenzhen, la méthode nécessite peu de données non désagrégées qui sont toutes disponibles au Québec. Elle représente donc la méthode la plus applicable au Québec. Toronto est aussi une méthode très applicable, car elle permet de choisir les flux étudiés en fonction des données qui sont disponibles. De plus, cette méthode collecte des données non désagrégées, alors il est plus facile et moins long de collecter les données nécessaires. En troisième rang se trouve la méthode de Montréal avec un score de 8 sur 9. Cette méthode, quant à elle, s'applique relativement bien au Québec, car elle peut s'adapter aux données disponibles et utiliser des données monétaires lorsque les quantités en termes de tonnes ne sont pas disponibles. En théorie, tous les flux doivent être recensés, mais en pratique les études quantifient seulement les flux qu'ils trouvent les plus pertinents. De plus, les données ne sont pas désagrégées ce qui facilite la compilation. Les méthodes du Danemark, de Vancouver et de Genève ont obtenu un score de 7 sur 9 étant donné que la collecte de données est difficile au Québec parce que celles-ci se retrouvent fortement dispersées au sein des acteurs du territoire. Cependant, ces méthodes choisissent les flux de matières qui sont étudiés et peuvent donc s'adapter en fonction des données disponibles. La méthode de Bruxelles a obtenu un score de 6 sur 9, car celle-ci commence par collecter les données agrégées et lorsque possible, elle collecte des données désagrégées. L'approche méthodologique employée par Bruxelles permet donc de légèrement s'adapter en fonction des données disponibles. Enfin, les méthodes de la Bourgogne, de Paris et de Lisbonne ont obtenu un score de 4 sur 9. Ces méthodes sont les moins applicables au Québec parce qu'elles nécessitent une quantité importante de données pour être employées et certaines de ces données ne sont pas disponibles au Québec. De plus, la méthode ne peut pas facilement s'adapter en fonction des données disponibles parce que l'inventaire de tous les flux de matières est nécessaire pour pouvoir utiliser les indicateurs et obtenir des résultats valables. Au final, les méthodes les plus applicables au Québec se trouvent à être Toronto et Shenzhen avec un score de 12 sur 12. Ensuite, il y a les méthodes de Montréal, de Vancouver, de Genève et du Danemark qui ont obtenu le score de 9 sur 12. Enfin, il y a la méthode de Bruxelles qui a obtenu le score de 8 sur 12 et les méthodes de la Bourgogne, de Paris et de Lisbonne qui ont obtenu le score de 6 sur 12.

#### **5.4. Création de l'outil d'aide à la décision pour le choix de la méthode**

Suite à la séparation des méthodes en fonction des objectifs et de l'évaluation des méthodes en fonction de leur niveau d'applicabilité québécoise, un outil d'aide à la décision a été développé pour accompagner les utilisateurs à choisir la méthode qui répond le mieux à leur besoin. La section qui suit vise à justifier le choix du type d'outil, expliquer l'élaboration de l'outil et présenter l'outil en soi.

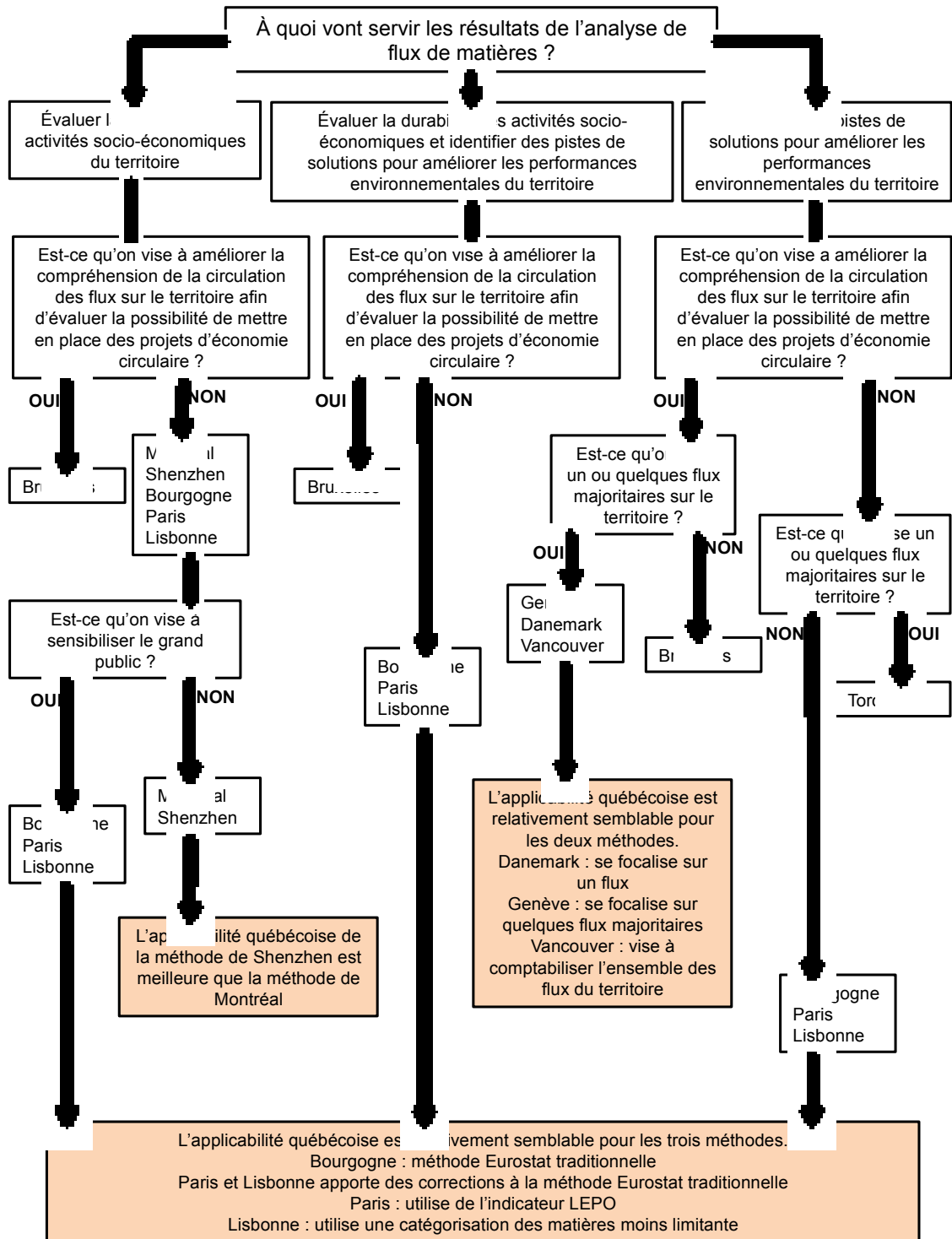
##### **5.4.1. Choix du type d'outil**

Étant donné que l'outil sera utilisé par une gamme très variée d'utilisateurs tels que des gouvernements, des municipalités, des chercheurs et les entreprises, il faut qu'il reste accessible à tous. Ainsi, un arbre de décision a été choisi comme approche pour orienter les utilisateurs vers la meilleure méthode pour eux. L'approche visuelle est particulièrement utile pour comprendre les décisions séquentielles comme c'est le cas avec le choix de la méthode d'AFM (Olivas, 2007). En addition, l'arbre de décision permet de déterminer de façon rapide et simple des décisions alternatives (Olivas, 2007).

##### **5.4.2. Élaboration de l'outil**

Comme mentionné précédemment, le choix d'une méthode doit d'abord s'orienter en fonction des résultats souhaités. Ainsi, l'arbre de décision commence par poser des questions sur les objectifs. Une fois que la catégorie de méthode qui répond aux objectifs visés est identifiée, le tri des méthodes se base sur l'applicabilité québécoise. Advenant le cas où des méthodes répondent aux mêmes objectifs et possèdent le même niveau d'applicabilité québécoise, celles-ci seront choisies en fonction de leurs avantages et désavantages méthodologiques respectifs. L'arbre de décision est présenté à la figure 5.2.

Pour choisir l'ordre dans lequel les questions concernant les objectifs allaient être posées, des questions concernant les objectifs les plus englobant ont été posées en premier. Lorsqu'un objectif est plus englobant qu'un autre, il n'entre pas en compétition avec celui-ci. Ce choix a été pris pour diminuer la subjectivité de l'outil. Les deux objectifs les plus englobant se trouvent à être : évaluer la durabilité des activités socio-économiques du territoire et identifier des pistes de solutions pour améliorer les performances environnementales du territoire. Cependant, certaines méthodes peuvent répondre à ces deux objectifs, alors pour ne pas mettre ces deux objectifs en compétition, une troisième option a été créée : évaluer la durabilité des activités socio-économiques et identifier des pistes de solutions pour améliorer les performances environnementales du territoire. Ainsi, à partir de cette question, trois options sont possibles. À chacune de ces options, une question concernant l'objectif le plus englobant des objectifs restants a été posée. Cet objectif est d'améliorer la compréhension de la circulation des flux sur le territoire afin d'évaluer la possibilité de mettre en place des projets d'économie circulaire. Ensuite, pour séparer les méthodes restantes, lorsque pertinent, une question concernant les autres objectifs a été posée. Enfin, pour séparer les méthodes restantes, des avantages et désavantages méthodologiques découlant du chapitre 2 sont présentés dans un encadré.



**Figure 5.2 : Arbre de décision pour choisir la méthode d'analyse de flux de matières**

## **6. RECOMMANDATIONS**

Les enseignements tirés des expériences étrangères, les leçons tirées des sources de données disponibles au Québec ainsi que l'évaluation des méthodes d'AFM a permis de formuler plusieurs recommandations qui visent entre autres à organiser une gouvernance régionale des flux de ressources, améliorer l'applicabilité québécoise et tirer le maximum de bénéfices d'une démarche d'AFM.

### **6.1. Organiser une gouvernance régionale des flux de ressources**

Étant donné que les régions jouent un rôle essentiel de mobilisation et d'accompagnement des acteurs publics et privés, l'organisation d'un dispositif facilitant l'application plus systémique des principes de l'économie circulaire paraît comme une étape initiale et primordiale. Pour aider à organiser cette gouvernance, il faut d'abord développer un cadre stratégique provincial et ensuite construire des plates-formes régionales de gestion des ressources.

#### **6.1.1. Développer un cadre stratégique provincial**

À l'image de la France, pour mettre en œuvre l'économie circulaire de façon efficace et initier des démarches d'AFM, le Québec devrait s'approprier un cadre stratégique provincial. Comme mentionné précédemment, la stratégie de développement durable du gouvernement québécois prévoit encourager la mise en place de projets d'économie circulaire. Ainsi, en assumant que la région apparaît comme un niveau de gouvernance pertinent pour assurer une transversalité et une articulation efficace entre les acteurs, les thématiques et les échelles territoriales, la prochaine étape cohérente serait de décliner l'économie circulaire comme un projet de territoire. C'est exactement ce que la France avait prévu dans sa deuxième feuille de route issue de la Conférence environnementale de septembre 2013. En effet, cette feuille de route prévoyait « accroître la connaissance de flux de déchets et de matières, ainsi que des coûts de financements associés à leur gestion » (France. MEDDE, 2014). Pour ce faire, elle prévoyait améliorer les connaissances en développant des plates-formes régionales. Au Québec, les régions comme les municipalités et les MRC possèdent un pouvoir d'action considérable concernant les projets d'économie circulaire. En adoptant leur transmettant la responsabilité d'initier les projets d'économie circulaire, le Québec pourrait développer un cadre stratégique qui viserait principalement à les encadrer.

La stratégie devra dans un premier temps viser à sensibiliser les acteurs aux enjeux qui concernent la gestion des ressources par l'utilisation d'outils bien connus comme des conférences et des documents explicatifs. Dans un deuxième temps, la stratégie devra viser à former les acteurs aux outils qu'ils peuvent utiliser pour débiter une démarche d'économie circulaire. À cet égard, la rédaction et le partage de guides pourraient être utile. Ces guides devront expliquer comment mettre en place une plate-forme régionale de gestion des ressources comme il sera décrit dans la section qui suit. Enfin, les régions pourront s'approprier la démarche et mettre en œuvre des projets.

Pour aider les régions à s'approprier la démarche d'économie circulaire, la stratégie gouvernementale pourrait instaurer un réseau de partage des expériences. Ce réseau regroupant des expériences positives et négatives de modification du métabolisme territorial pourrait d'une part, contribuer à motiver les acteurs à mettre en œuvre certains projets lorsque ceux-ci se sont avérés fructueux dans d'autres régions et d'autre part, bâtir une meilleure résilience. De ce fait, le gouvernement engagerait, au Québec, une dynamique d'amélioration continue des méthodes et outils en économie circulaire.

### **6.1.2. Construire des plates-formes régionales de gestion des ressources**

L'AFM est un outil innovant qui peut grandement aider au pilotage et à l'évaluation des politiques et actions qui se rattachent à la gestion des ressources. Cependant, pour être efficace, l'AFM nécessite une large appropriation par les acteurs concernés. Pour faciliter cette appropriation, il est ici recommandé de construire des plates-formes régionales pour la gestion des ressources.

La figure 6.1 présente un exemple d'organisation d'une plate-forme régionale de gestion des ressources développé par le Commissariat général au développement durable en France (France. MEDDE, 2014). Cette plate-forme possède deux dimensions principales qui permettent d'améliorer le métabolisme du territoire. La première dimension est la comptabilité de flux qui regroupe toutes les informations concernant l'utilisation des ressources sur le territoire. Cette dimension est alimentée par deux sources principales qui sont les démarches de métabolisme (entreprises, groupes d'entreprises, filières, secteurs, substance, territoire) et les autres travaux complémentaires sur la connaissance des flux (aire d'approvisionnement, empreinte environnementale) (France. MEDDE, 2014). La deuxième dimension est la coordination des acteurs qui repose sur le dialogue d'animation et de coopération. Le fonctionnement de cette dimension nécessite une communauté d'acteurs diversifiés (institutions d'État, collectivités locales, entreprises, chercheurs) et des règles de gouvernance bien définies (contrôle de l'application de décision, moyen de prise de décision, réflexion collective préalable) (France. MEDDE, 2014).

Étant donné qu'au Québec les collaborations multi-acteurs ne sont pas spontanées, les acteurs publics doivent créer les conditions préalables à l'instauration de plates-formes régionales. Ainsi, la stratégie cadre discutée dans la section précédente doit prévoir former les régions (municipalités et MRC) pour qu'elles soient en mesure d'identifier, d'accompagner et d'organiser efficacement les collaborations multi-acteurs sur un territoire.

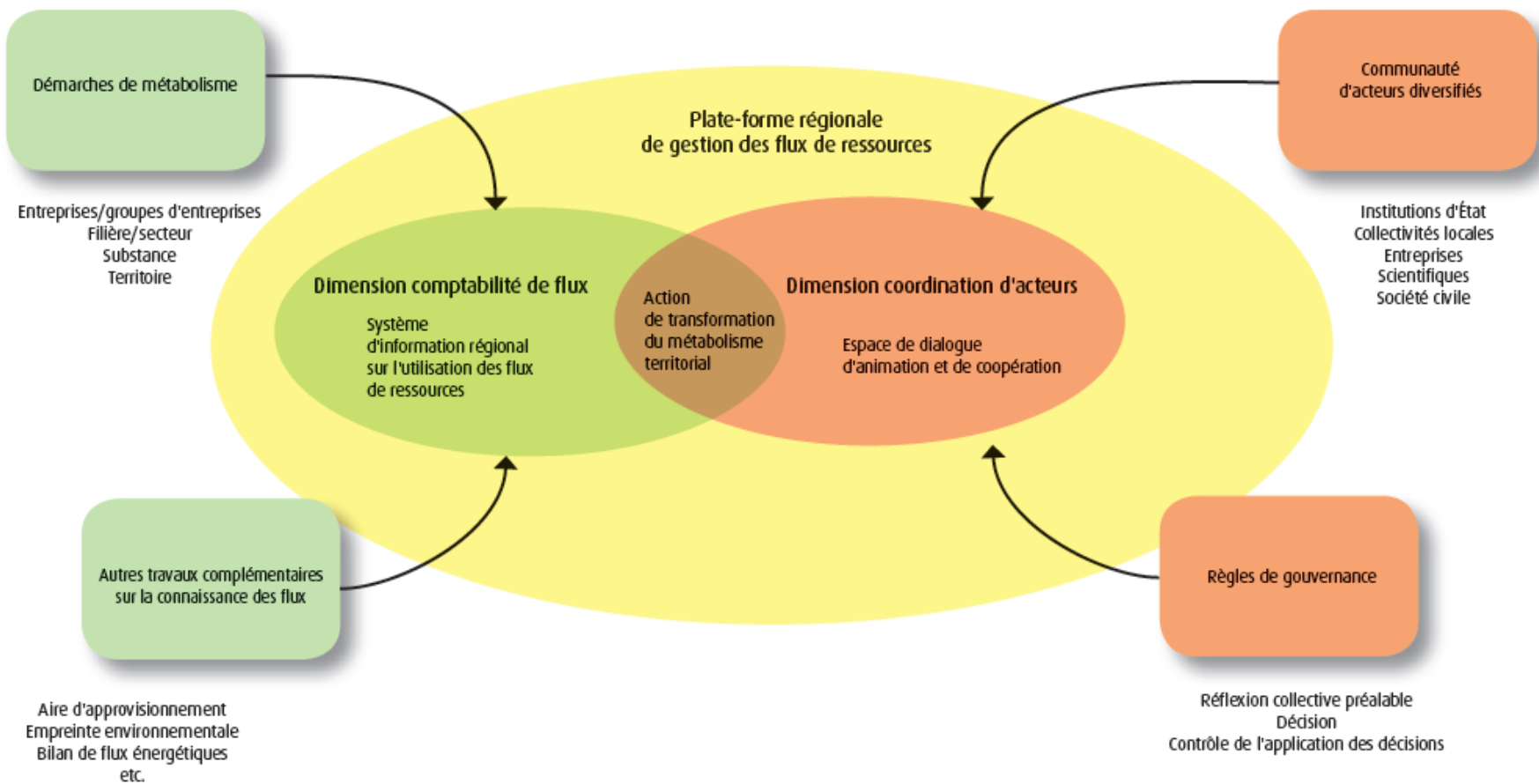


Figure 6.1 : Exemple d'organisation d'une plate-forme régionale de gestion des ressources (tirée de France. MEDDE, 2014, p. 100)

## **6.2. Améliorer l'applicabilité québécoise**

Les résultats de l'essai ont montré que les données disponibles pour la réalisation d'une étude de comptabilité des flux de matières étaient beaucoup moins nombreuses au Canada et au Québec qu'en Europe. D'où la nécessité de bonifier et de restructurer les bases de données existantes et développer des méthodes d'AFM sur mesure.

### **6.2.1. Bonifier et restructurer les bases de données existantes**

Comme mentionné au chapitre 3, les données sont dispersées à travers les différentes publications et sources de données qui sont manipulées par différentes institutions et plateaux administratifs. La première tâche consiste à identifier les sources originales et colliger les données. La seconde tâche consiste à vérifier, réviser et compléter ces données afin de les adapter à un cadre cohérent qui facilite la compilation des données en AFM. Il est vrai que cette restructuration des données peut être une tâche difficile, car les données disponibles sont actuellement compilées et structurées de façon différente. Pour faciliter cette restructuration, le cas de Genève peut être utilisé à titre d'exemple. Genève est une ville qui possède un certain pouvoir législatif, ainsi elle a forcé le développement de registres compatibles avec la compilation de données en AFM (Emmenegger, 2003). Pour l'instant, au Québec, il est tout de même possible de compiler certaines données. Toutefois, pour faciliter la tâche, il est recommandé de fixer les limites de l'étude d'AFM aux limites des régions administratives, car plus de données sont compilées et disponibles en fonction de ces régions.

### **6.2.2. Développer une méthode d'analyse de flux de matières sur mesure**

Plusieurs pays se questionnent actuellement sur la pertinence de développer un guide référentiel national pour accompagner la mise en œuvre d'une méthode d'AFM. Or, lorsqu'un guide est réalisé, une méthode est arbitrairement imposée à toutes les régions du pays. Comme cet essai l'a démontré, le type de résultats varie en fonction de la méthode sélectionnée. Pour créer des résultats concrets qui seront utilisés, une méthode d'AFM doit être choisie en fonction des objectifs formulés et de l'applicabilité de celle-ci. Par conséquent, quand un pays impose une méthode particulière, certaines régions ne pourront tirer pleinement bénéfice de la mise en place d'une telle démarche. Il est vrai que l'application d'une méthode uniforme permet de comparer les régions entre elles. Cependant, pour un gouvernement, l'objectif principal derrière la réalisation d'une AFM n'est pas de comparer les résultats, mais de mettre en œuvre des projets concrets d'économie circulaire qui permettent d'améliorer la gestion des ressources. Il est donc recommandé d'accompagner les régions à choisir une méthode qui répond le mieux à leurs enjeux. Si aucune méthode ne correspond parfaitement, des spécialistes de l'AFM doivent être mis à la disposition des régions pour qu'elles soient en mesure de construire leur propre méthode tout comme c'était le cas à Bruxelles-Capitale et à Lisbonne. Ces deux villes ont apporté des modifications aux méthodes d'AFM existantes pour qu'elles répondent efficacement à leurs objectifs, à leurs contraintes d'applicabilité tout en en sélectionnant les éléments méthodologiques les plus avantageux.



### **6.3. Mettre en place un dispositif efficace dès le départ**

La mise en place d'une démarche d'AFM demande beaucoup d'efforts. Il est ainsi important de bien réfléchir en amont à comment instaurer la démarche pour qu'elle soit des plus profitables. Pour ce faire, la méthode doit être choisie en fonction des objectifs formulés par l'ensemble des acteurs concernés et la démarche doit être pérennisée dans le temps.

#### **6.3.1. Choisir la méthode en fonction d'objectifs formulés par l'ensemble des acteurs**

Tout d'abord, pour tirer profit au maximum des résultats d'une AFM, il faut en amont définir les objectifs et le niveau d'effort qui pourra être investi. Pour ce faire les questions suivantes fournies par l'OCDE peuvent orienter les utilisateurs :

- Qu'est-ce qu'on cherche à faire avec les résultats de la comptabilité de flux de matières ? Est-ce qu'il y a des problèmes en particuliers qu'on vise à régler ? Qui consultera les résultats et qui s'en serviront ?
- Quels seront les coûts de l'étude ? Combien de personnes sont nécessaires et quel niveau d'expertise est requis ?
- Quels sont les avantages, désavantages, coûts et bénéfices des différentes alternatives ? Est-ce que des résultats similaires pourraient être obtenus par l'entremise d'une approche différente de l'AFM ? (traduction libre : OCDE, 2008, p. 130)

L'AFM possède de nombreuses utilités qui peuvent profitées à de nombreux utilisateurs potentiels. Les résultats peuvent aussi servir aux gouvernements et aux citoyens en orientant des politiques publiques. Pour identifier la méthode d'AFM la plus appropriée et la plus pertinente pour tous ces acteurs, l'arbre de décision développée au chapitre 4 peut faciliter la tâche. Par contre, il est important que les utilités particulières des résultats soient priorisées et discutées avec tous les acteurs concernés en amont de l'étude. Il est vrai que susciter l'implication des acteurs du territoire peut être long, mais il a souvent été démontré que les bénéfices en termes d'acceptation des résultats en valent la peine (OCDE, 2008). L'entretien avec monsieur Malaz Sebai, chargé de projets pour l'entreprise Second Cycle à Toronto, a permis de confirmer que le manque de consultations avec les acteurs du territoire en amont d'une étude d'AFM entraîne des résultats qui ne sont pas utilisés, car ils ne correspondent pas aux besoins de ceux-ci (Sebai, 2015).

Les enseignements des expériences étrangères ont permis de voir que souvent les méthodes d'AFM sont très ambitieuses et ne sont pas nécessairement utilisées pour répondre à des problèmes particuliers. En ce sens, il est essentiel de choisir la méthode qui sera utilisée en fonction des objectifs, mais aussi en fonction du niveau d'effort disponible. Cette approche permet d'éviter l'usage de méthodes trop ambitieuses qui entraînent la production de résultats théoriques et inutiles.

Bref, la réalisation d'une AFM doit demeurer concrète, orientée vers les utilisateurs et réaliste quant au niveau d'effort disponible (OCDE, 2008). Ainsi, il est recommandé d'adopter des approches méthodologiques qui se focalisent sur les flux les plus importants, qui permettent d'obtenir un niveau de détail satisfaisant et qui produisent des résultats concrets qui peuvent être utilisés par les acteurs.

### **6.3.2. Pérenniser la démarche d'analyse de flux de matières**

Pour maximiser la démarche d'AFM, il est important d'engager un processus répétitif de production et d'amélioration des données d'AFM. La pérennisation de la démarche permettra dans un premier temps de produire des résultats qui reflètent la nouvelle réalité du territoire en termes d'utilisation des ressources, ce qui permettra de développer de nouveaux projets d'économie circulaire pour répondre aux nouveaux enjeux. Il sera aussi possible de comparer la performance du territoire avec les années précédentes et de mesurer l'efficacité des projets qui ont été mis en place. Enfin, la pérennisation de la démarche d'AFM permet non seulement de maximiser le retour sur l'investissement, mais permet aussi d'effectuer des prévisions pour les années à venir ce qui permettra d'orienter les prochaines politiques environnementales.

## CONCLUSION

L'objectif du travail était d'explorer les méthodes applicables dans le contexte québécois et de développer une approche pour orienter les utilisateurs vers la méthode d'AFM qui répond le mieux à leurs besoins. Cet objectif a bel et bien été atteint, car un arbre de décision a été construit pour aider les acteurs du territoire à choisir la méthode appropriée. Pour ce faire, cet ouvrage a commencé par examiner les études de métabolisme urbain qui ont été effectuées à travers le monde. Dix méthodes distinctes ayant le potentiel d'être appliquées dans les régions québécoises ont été identifiées. La revue de littérature a permis de montrer les principales différences entre ces méthodes en ce qui a trait aux données requises pour réaliser la méthode et leur niveau d'agrégation, le type de résultats produits, les éléments méthodologiques, les avantages et les limites. De plus, deux facteurs qui influencent le choix de la méthode ont aussi été identifiés : la cohérence avec les objectifs de l'étude et le niveau d'applicabilité. En effet, le choix d'une méthode d'AFM doit absolument être cohérent avec les objectifs derrière cette réalisation. Par exemple, si l'objectif principal pour les utilisateurs est de mettre en œuvre des projets d'écologie industrielle et territoriale, la méthode doit permettre d'améliorer la compréhension de la circulation des flux à l'intérieur du territoire ce qui élimine plusieurs des méthodes existantes.

Suite aux enseignements des expériences étrangères, l'essai a présenté les sources de données québécoises qui étaient disponibles pour la réalisation d'AFM. Il a été montré que les données étaient disponibles sur plusieurs plateaux administratifs et étaient donc publiées selon différents standards. Par conséquent, au Québec, il est actuellement difficile et long d'obtenir toutes les données nécessaires pour la réalisation d'une AFM. De plus, il existe peu de données compilées dans les régions québécoises ce qui rend la tâche d'autant plus difficile pour les acteurs qui doivent avoir recours à des estimations ou des enquêtes sur le terrain par l'entremise de questionnaires et d'entretiens.

Les conclusions tirées de la revue de littérature sur les métabolismes urbains et le constat sur les sources de données québécoises disponibles pour l'AFM ont permis par la suite de trier les méthodes selon plusieurs critères. D'abord, les méthodes ont été séparées en fonction des objectifs auxquels elles peuvent répondre. Ce premier tri a permis de séparer les méthodes en cinq catégories distinctes. Ensuite, l'applicabilité québécoise des méthodes a été évaluée. À cet égard, une analyse multicritère a été utilisée. Les méthodes ont donc été comparées en fonction de leur accessibilité et de la disponibilité des données requises. Pour évaluer la disponibilité des données, deux critères ont été retenus : l'adaptabilité des méthodes face aux données disponibles et le niveau de désagrégation des données nécessaires. De cette façon, les méthodes ont été classées selon leur potentiel d'application au Québec. Enfin, en prenant en considération les objectifs auxquels les méthodes peuvent répondre et leur niveau d'applicabilité au Québec, un arbre de décision a été construit. Cet arbre a pour objectif d'éclairer les utilisateurs et de les orienter vers la méthode d'AFM la plus appropriée.

En somme, l'essai a aussi permis de formuler des recommandations générales pour initier de façon efficace des démarches d'AFM au Québec. Étant donné que l'essai a montré que les régions jouent un rôle essentiel de mobilisation et d'accompagnement des acteurs publics et privés, la première recommandation vise à organiser un dispositif qui facilite l'application plus systémique des principes de l'économie circulaire. Pour aider à organiser cette gouvernance, il a d'abord été recommandé de développer un cadre stratégique provincial et ensuite de construire des plates-formes régionales de gestion des ressources. Les résultats de l'essai ont aussi montré que les données disponibles pour la réalisation d'une AFM au Québec se trouvaient en trop faibles quantités. La deuxième recommandation vise donc à bonifier et restructurer les bases de données existantes. La troisième recommandation formulée vise à optimiser les bénéfices qui seront tirés de la démarche d'AFM. Pour ce faire, il est d'abord crucial de choisir la méthode qui sera utilisée en fonction d'objectifs formulés par l'ensemble des acteurs concernés par la démarche et d'ensuite penser à comment la démarche peut être pérennisée dans le temps.

L'AFM représente un premier pas vers un Québec durable, mais comme démontré dans cet ouvrage, son application n'est pas chose facile. La réalisation d'AFM doit donc obligatoirement être encadrée par les différents paliers gouvernementaux. Une nouvelle approche pour encadrer l'AFM au Québec pourrait être de réglementer les différents secteurs industriels pour qu'ils démontrent l'atteinte d'un certain taux de récupération, recyclage ou valorisation de leurs matières en fin de vie. Cette réglementation aurait pour effet d'augmenter la traçabilité des matières sur les territoires et de faciliter la compilation des données lors de réalisation d'AFM au Québec.

## RÉFÉRENCES

- Alterre Bourgogne (2013). La Bourgogne comptabilise ses flux de matières. *Repères, périodique d'Alterre Bourgogne*, n° 64, p. 2-12.
- Alterre Bourgogne (s.d.). En quelques mots. *In* Alterre Bourgogne. *Qui sommes-nous ?* <http://www.alterre-bourgogne.org/r/53/en-quelques-mots/> (Page consultée le 10 novembre 2015).
- Amman, C., Bruckner, W., Fischer-Kowalski, M. et Grunbuhel, C. (2002). Material Flow Accounting in Amazonia A Tool for Sustainable Development. *In* ResearchGate. <http://www.uni-klu.ac.at/socec/downloads/wp63.pdf> (Page consultée le 23 août 2015).
- Anonyme (s.d.). IN+ Urban metabolism and sustainable cities. *In* IN+. <http://arcst.tagus.ist.utl.pt/UMSC/LMA/> (Page consultée le 10 novembre 2015).
- Ascione, M., Campanella, L., Cherubini, F. et Ulgiati, S. (2009). Environmental driving forces of urban growth and development An emergy-based assessment of the city of Rome, Italy. *Landscape and Urban Planning*, vol. 93, p. 238-249.
- Association canadienne des carburants (2014). Sites de raffinage et capacité. *In* Association canadienne des carburants. *Notre industrie*. <http://canadianfuels.ca/fr/sites-de-raffinage-et-capacite> (Page consultée le 10 novembre 2015).
- Aurez, V., Tan, A., Deboutière, A., Carré, L. et Schnebelen, N. (2015). L'économie circulaire, une trajectoire clé pour la lutte contre le dérèglement climatique. *In* Institut de l'économie circulaire. *Publications*. [http://www.institut-economie-circulaire.fr/Etude--L-economie-circulaire-une-trajectoire-cle-pour-la-lutte-contre-le-dereglement-climatique\\_a933.html](http://www.institut-economie-circulaire.fr/Etude--L-economie-circulaire-une-trajectoire-cle-pour-la-lutte-contre-le-dereglement-climatique_a933.html) (Page consultée le 10 septembre 2015).
- Baccini, P. et Brunner, H.P. (1991). *Metabolism of the Anthroposphere*. Berlin, Springer-Verlag, 157 p.
- Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappell, M.J., Avile's-Vazquez, K., Samulon, A. et Perfecto, I. (2006). Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems*, vol. 22, n° 2, p. 86-108.
- Barles, S. (2007). Mesurer la performance écologique des villes et des territoires : Le métabolisme de Paris et de l'Île-de-France. *In* Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines. *Rapports de recherche*. [http://perso.univ-mlv.fr/www-ltmu/groupe\\_documents/doc\\_pdf/Barles-EI-Paris.pdf](http://perso.univ-mlv.fr/www-ltmu/groupe_documents/doc_pdf/Barles-EI-Paris.pdf) (Page consultée le 25 octobre 2015).
- Barles, S. (2009). Urban Metabolism of Paris and Its Regions. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 13, n° 6, p. 898-913.
- Barrett, J. et Scott, A. (2001). An Ecological Footprint of Liverpool : Developing Sustainable Scenarios. *In* Stockholm Environment Institute. *Publications*. <http://www.gdrc.org/uem/footprints/LiverpoolEFRreport.PDF> (Page consultée le 15 septembre 2015).

- Barrett, J., Vallack, H., Jones, A. et Haq, G. (2002). Material Flow Analysis Ecological Footprint of York. In University of York. *York Ecological Footprint*. <https://www.york.ac.uk/sei/projects/completed-projects/york-ecological-footprint/> (Page consultée le 2 août 2015).
- Bishop, J., Bertrand, N., Gilbert, S., Grigg, A., Hwang, L., Kallesoe, M., Vakrou, A., van der Lugt, C. et Vorhies, F. (2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) for Business. In TEEB. *Publications*. <http://www.teebweb.org/publication/teeb-for-business-executive-summary/> (Page consultée le 10 octobre 2015).
- Brown, M.T. et Ulgiati, S. (2004). Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*, vol. 178, n°1, p. 201-213.
- Browne, D., O'Regan, B. et Moles, R. (2009). Assessment of total urban metabolism and metabolic inefficiency in an Irish city-region. *Waste Management*, vol. 29, p. 2765-2771.
- Brunner, P.H. et Rechberger, H. (2004). *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. Boca Raton, CRC Press, 318 p.
- Brunner, P.H., Lohm, U., de Haes, U., Vijverberg, A.J., Deistler, M. et Baccini, P. (1998). Materials Accounting as A Tool for Decision Making in Environmental Policy. In Resource Management Agency (RMA). *Publications*. <http://www.rma.at/en/node/1032> (Page consultée le 11 octobre 2015).
- Caillet, R. (2003). Analyse multicritère : Étude de comparaison des méthodes existantes en vue d'une application en analyse de cycle de vie. In Centre Interuniversitaire de Recherche et Analyse des Organisations (CIRANO). *Série scientifique*. <http://www.cirano.qc.ca/pdf/publication/2003s-53.pdf> (Page consultée le 9 novembre 2015).
- Canada. Environnement Canada (2015a). Inventaire des émissions de polluants atmosphériques. In Environnement Canada. *Pollution et déchets*. <https://www.ec.gc.ca/pollution/default.asp?lang=Fr&n=E96450C4-1> (Page consultée le 11 novembre 2015).
- Canada. Environnement Canada (2015b). Recherche des installations. In Environnement Canada. *Polluants*. <http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/donnees-data/index.cfm?lang=Fr> (Page consultée le 11 novembre 2015).
- Canada. Office de l'efficacité énergétique (OEE) (2014). Tableaux de la base de données complète sur la consommation d'énergie. In OEE. *Secteur de la production d'électricité*. [http://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/evolution\\_egen\\_ca.cfm?attr=0](http://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/evolution_egen_ca.cfm?attr=0) (Page consultée le 4 novembre 2015).
- Canada. Pêche et Océans Canada (2015). Statistique nationale. In Pêche et Océans Canada. *Statistiques*. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/stats/stats-fra.htm> (Page consultée le 7 novembre 2015).
- Canada. Statistique Canada (2014). Statistiques sur les aliments. In Statistique Canada. *Tableaux*. <http://www.statcan.gc.ca/pub/21-020-x/2009001/tablesectlist-listetablessect-fra.htm> (Page consultée le 7 novembre 2015).
- Chen, S. et Chen, B. (2012). Network Environ Perspective for Urban Metabolism and Carbon Emissions: A Case Study of Vienna, Austria. *Environmental Science & Technology*, vol. 46, p. 4498-4506.

- Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) (2015). Statistiques, données et publications concernant la région métropolitaine de Montréal. *In* CMM. *Observatoire Grand Montréal*. <http://observatoire.cmm.qc.ca/swf/indicateursMetropolitains.php> (Page consultée le 6 octobre 2015).
- De Ladurantaye, R. (2010). *ENV 757 Gestion de l'eau, Notes de cours*. Sherbrooke, Centre Universitaire de formation en environnement et développement durable (CUFE), Université de Sherbrooke, 17 p.
- Deboutière, A. et Georgeault, L. (2015). Quel potentiel d'emploi pour une économie circulaire ? *In* Institut de l'économie circulaire. *Publications*. [http://www.institut-economie-circulaire.fr/Etude-I-L-Institut-publie-une-etude-sur-le-potentiel-d-emplois-en-economie-circulaire\\_a867.html](http://www.institut-economie-circulaire.fr/Etude-I-L-Institut-publie-une-etude-sur-le-potentiel-d-emplois-en-economie-circulaire_a867.html) (Page consultée le 15 octobre 2015).
- Department of Economics and Social Affairs (2015). World Population Prospects 2015 *In* Nations unies (NU). *Download Files*. <http://esa.un.org/unpd/wpp/DVD/> (Page consultée le 21 septembre 2015).
- Duret, B., Mat., N., Bonard, A., Dastrevigne, E., et Lafragette, A. (2007). Écologie territoriale : une aide à la définition d'une politique énergétique. *Les annales de la recherche urbaine*, n° 103, p. 73-78.
- EcoRes (2015). Métabolisme de la Région Bruxelles-Capitale : identification des flux, acteurs et activités économiques sur le territoire et pistes de réflexions pour l'optimisation des ressources. *In* Ecobuild Brussels. *News & Agenda*. [http://www.environnement.brussels/sites/default/files/user\\_files/rap\\_20150715\\_metabolisme\\_rbc\\_ra\\_pport\\_compile.pdf](http://www.environnement.brussels/sites/default/files/user_files/rap_20150715_metabolisme_rbc_ra_pport_compile.pdf) (Page consultée le 20 août 2015).
- Ellen MacArthur Foundation (2015a) Towards the Circular Economy. *In* Ellen MacArthur Foundation. *Publications*. [http://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/EMF\\_CE\\_Report\\_AW\\_French\\_summary-2.pdf](http://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/EMF_CE_Report_AW_French_summary-2.pdf) (Page consultée le 20 septembre 2015).
- Ellen MacArthur Foundation (2015b). Circular Economy Overview. *In* Ellen MacArthur Foundation. *Circular Economy*. <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/overview/principles> (Page consultée le 15 septembre 2015).
- Ellen MacArthur Foundation et McKinsey Institute (2015). Growth within : A Circular Economy Vision for A Competitive Europe. *In* McKinsey&Company. *Sustainability & Resource Productivité*. [http://www.mckinsey.com/client\\_service/sustainability/latest\\_thinking/growth\\_within\\_-\\_a\\_circular\\_economy\\_vision\\_for\\_a\\_competitive\\_europe](http://www.mckinsey.com/client_service/sustainability/latest_thinking/growth_within_-_a_circular_economy_vision_for_a_competitive_europe) (Page consultée le 10 octobre 2015).
- Emmenegger, M.F. (2003). Métabolisme des activités économiques du canton de Genève – Phase 1. *In* Geneva Network of Industrial Ecology. *Fonds documentaires*. <http://www.genie.ch/library/h/metabolisme-des-activites-economiques-du-canton-de-geneve---phase-1.html> (Page consultée le 15 octobre 2015).
- Enckell, et Carré, (2015). « Faire évoluer le statut de déchet pour promouvoir l'économie circulaire ». *In* Institut de l'économie circulaire. *Publications*. [http://www.institut-economie-circulaire.fr/Synthese-I-Nouvelle-note-de-l-Institut-Faire-evoluer-le-statut-de-dechet-pour-promouvoir-l-economie-circulaire\\_a865.html](http://www.institut-economie-circulaire.fr/Synthese-I-Nouvelle-note-de-l-Institut-Faire-evoluer-le-statut-de-dechet-pour-promouvoir-l-economie-circulaire_a865.html) (Page consultée le 20 octobre 2015).

- Energy Information Administration (EIA) (2014). Calculators for energy used in the United State. *In* EIA. *Energy calculators*.  
[http://www.eia.gov/kids/energy.cfm?page=about\\_energy\\_conversion\\_calculator-basics](http://www.eia.gov/kids/energy.cfm?page=about_energy_conversion_calculator-basics) (Page consultée le 13 novembre 2015).
- Eurostat (2001). *Economy-wide material flow accounts and derived indicators*. Luxembourg, European Communities, 92 p.
- Eurostat (2009). *Economy Wide Material Flow Accounts: Compilation Guidelines for reporting to the 2009 Eurostat questionnaire*. Luxembourg, European Communities, 125 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOstat) (2014). Crops. *In* FAOstat. *Production*.  
<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> (Page consultée le 25 octobre 2015).
- France. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) (2014). *Comptabilité des flux de matières dans les régions et les départements*. Nancy, MEDDE, 114 p.
- France. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) (2011). L'éco-conception, c'est quoi ? *In* MEDDE. *Développement durable*. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/L-eco-conception-c-est-quoi.html> (Page consultée le 15 novembre 2015).
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R. et Meybeck, A. (2011). Global Food Losses and Food Waste. *In* Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. *Publications*. <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e.pdf> (Page consultée le 20 septembre 2015).
- Hammer, M., Giljum, S., Bargigli, S. et Hinterberger, F. (2003). Material Flow Analysis on the Regional Level : Questions, Problems, Solutions. *In* Sustainable Europe Research Institute (SERI). *Publications*. <http://seri.at/en/publications/other-working-papers/2009/09/20/material-flow-analysis-on-the-regional-level-questions-problems-solutions/> (Page consultée le 5 septembre 2015).
- Hannon, B. (1973). The Structure of Ecosystems. *Journal of Theoretical Biology*, vol. 41, p.535-546.
- Huang, S.L. et Chen, C.W. (2005). Theory of urban energetics and mechanisms of urban development. *Ecological Modelling*, vol. 189, n° 1, p. 49-71.
- Hunt, D.V.L., Leach, J.M., Lee, S.E., Bouch, C., Braithwaite, P. et Rogers, C.D.F » (2014). Material Flow Analysis (MFA) for liveable cities. *In* ResearchGate.  
[http://www.researchgate.net/publication/267762813\\_Material\\_Flow\\_Analysis\\_\(MFA\)\\_for\\_Liveable\\_Cities](http://www.researchgate.net/publication/267762813_Material_Flow_Analysis_(MFA)_for_Liveable_Cities) (page consultée le 10 septembre 2015).
- IHOBE (2002). Total Material Requirement of the Basque Country. *In* IHOBE. *Publications*.  
[http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-6172/en/contenidos/libro/ntm/en\\_pub/adjuntos/ntm.pdf](http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-6172/en/contenidos/libro/ntm/en_pub/adjuntos/ntm.pdf) (Page consultée le 5 novembre 2015)
- Institut de Conseil et d'Études en Développement durable (ICEDD) (2013). La comptabilité des flux de matières en Wallonie. *In* ICEDD. *Rapports d'études*.  
<http://etat.environnement.wallonie.be/index.php?page=etudes-detaillees> (Page consultée le 2 novembre 2015).



- Institut de l'économie circulaire (2013). L'économie circulaire, nouveau modèle de prospérité. *In* Institut de l'économie circulaire. *Note*. [http://www.institut-economie-circulaire.fr/Note--Economie-circulaire-vers-un-nouveau-modele-de-prosperite\\_a277.html](http://www.institut-economie-circulaire.fr/Note--Economie-circulaire-vers-un-nouveau-modele-de-prosperite_a277.html) (Page consultée le 15 octobre 2015).
- Institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire (EDDEC) (2015). L'économie circulaire. *In* Institut EDDEC. *E-DD-EC*. <http://institutedec.org/institut/quest-ce-que-leconomie-circulaire/> (Page consultée le 20 août 2015).
- Japon. Ministry of the Environment (1992). Quality of the Environment in Japan 1992. *In* Ministry of the Environment. *White paper*. <http://www.env.go.jp/en/wpaper/1992/> (Page consultée le 10 août 2015).
- Kennedy, C., Pincetl, S. et Bunje, P (2011). The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution*, vol. 159, n° 8, p. 1965-1973.
- Lei, K., Wang, Z. et Ton, S. (2008). Holistic emergy analysis of Macao. *Ecological Engineering*, vol. 32, p. 30-43.
- Lévy, J.C. et Aurez, V. (2014). *L'économie circulaire : un désir ardent des territoires*. Paris, Presses des Ponts, 207 p.
- Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, L.C. 1999, c. 33.
- Mareschal, T. (2015). Discussion au sujet des démarches de mobilisation des acteurs du territoire autour du concept d'amélioration du métabolisme urbain. *Entrevue menée par Audrey Morris avec Thierry Mareschal, chargé de projets à la Direction des Espaces Verts et de l'Environnement de la mairie de Paris*, 6 novembre 2015, Montréal.
- McKinsey Global Institute (2011). Resource Revolution : Meeting the world's energy, materials, food and water needs. *In* McKinsey&Company. *Research*. [http://www.mckinsey.com/insights/energy\\_resources\\_materials/resource\\_revolution](http://www.mckinsey.com/insights/energy_resources_materials/resource_revolution) (Page consultée le 20 octobre 2015).
- Millenium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-Being, synthesis. *In* Millenium Ecosystem Assessment. *Synthesis reports*. <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf> (Page consultée le 20 septembre, 2015).
- Moore, J., Kissinger, M et Rees, W.E. (2013). An urban metabolism and ecological footprint assessment of Metro Vancouver. *Journal of Enironmental Management*, vol. 124, p. 51-61.
- Morgan, J. et Mitchell, P. (2015). Opportunities to Tackle Britain's Labour Market Challenges Through Growth in Circular Economy. *In* Green Alliance. *Publications*. <http://www.green-alliance.org.uk/opportunities-to-tackle-britains-labour-market-challenges.php> (Page consultée le 15 octobre 2015).
- Ngo, N.s. et Pataki, D.E. (2008). The energy and mass balance of Los Angeles County. *Urban Ecosyst*, vol. 11, p. 121-139.
- Niza, S., Rosado, L. et Ferrao, P. (2009). Methodological Advances in Urban Material Flow Accounting Based on the Lisbon Case Study. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 13, n° 3, p. 384-405.

- Odum H.T. (2000). Handbook of Emergy Analysis. *In Emergy Systems. Folios*.  
<http://www.cep.ees.ufl.edu/emergy/publications/folios.shtml> (page consultée le 5 novembre 2015).
- Odum, H.T. (1996). *Environmental Accounting : Emergy and environmental decision making*. New York, John Wiley, 370 p.
- Olivas, R. (2007). Decision tree – A Primer for Decision-making Professionals. *In Rafael Olivas. Download*. [http://www.stylusandslate.com/decision\\_trees/download/files/decision-tree\\_v5\\_1b.pdf](http://www.stylusandslate.com/decision_trees/download/files/decision-tree_v5_1b.pdf) (page consultée le 12 novembre 2015).
- Orée (2008). *Mettre en œuvre une démarche d'écologie industrielle sur un parc d'activités*. Paris (France), Éditions SAP, 252 p. (Collection Orée).
- Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) (2008). Measuring material flows and resource productivity – syntheses report. *In Online Resource Efficiency Platform (OREP). Interactive Library*.  
[http://old.seri.at/documentupload/pdf/oecd\\_2008\\_material\\_flows\\_and\\_resource\\_productivity.pdf](http://old.seri.at/documentupload/pdf/oecd_2008_material_flows_and_resource_productivity.pdf)  
 (Page consultée le 10 novembre 2015).
- Pineau, P.O. et Whitmore, J. (2015). État de l'énergie au Québec. *In Chaire de gestion du secteur de l'énergie. État de l'énergie*. <http://energie.hec.ca/publications/etat-de-lenergie-au-quebec/> (Page consultée le 15 octobre, 2015).
- Pizzol, M., Scotti, M. et Thomsen, M. (2013). Network Analysis as a tool for assessing environmental sustainability: Applying the ecosystem perspective to a Danish Water Management System. *Journal of Environmental Management*, vol. 118, p.21-31.
- Pulselli, R.M. (2010). Integrating emergy evaluation and geographic information systems for monitoring resource use in the Abruzzo region (Italy). *Journal of Environmental Management*, vol. 91, n° 11, p. 2349-2357.
- Québec. Institut de la statistique du Québec (ISQ) (2011). Revue de littérature sur les comptes des matières résiduelles solides. Québec, ISQ, 100 p.
- Québec. Institut de la statistique du Québec (ISQ) (2014a). Profil sectoriel de l'industrie bioalimentaire au Québec. Québec, ISQ, 133 p.
- Québec. Institut de la statistique du Québec (ISQ) (2014b). Mines en chiffres. *In ISQ. Statistiques et publications*. <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/mines/mines-chiffres.html> (Page consultée le 8 novembre 2015).
- Québec. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) (2015). Bottin statistique de l'alimentation. Québec, MAPAQ, 94 p.
- Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) (2013a). Importance des ressources naturelles dans l'économie québécoise. *In MERN. Ministère*.  
<https://mern.gouv.qc.ca/ministere/economique/index.jsp> (Page consultée le 2 novembre 2015).

- Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) (2013c). Statistiques énergétiques. In MERN. *L'énergie*. <http://www.mern.gouv.qc.ca/energie/statistiques/index.jsp> (Page consultée le 5 novembre 2015).
- Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) (2013b). Statistiques minières. In MERN. *Les mines*. <http://www.mern.gouv.qc.ca/mines/statistiques/index.jsp> (Page consultée le 4 novembre 2015).
- Québec. Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMROT) (2013). Stratégie québécoise d'économie d'eau potable – Rapport annuel de l'usage de l'eau potable. Québec, MAMROT, 14 p.
- Québec. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) (2013). Ressources et industries forestières – Portrait statistique édition 2013. Québec, MFFP, 91 p.
- Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) (2015a). Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020. In MDDELCC. *Développement durable. Stratégie de développement durable*. [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/developpement/strategie\\_gouvernementale/](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/developpement/strategie_gouvernementale/) (Page consultée le 23 octobre 2015).
- Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) (2015b). Programme de traitement des matières organiques par biométhanisation et compostage. In MDDELCC. *Matières résiduelles*. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/programmes/biomethanisation/liste-projets.htm> (Page consultée le 2 novembre 2015).
- Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) (2011). Inventaire des émissions des principaux contaminants atmosphériques au Québec 2008 et évolution depuis 1990. Québec, MDDELCC, 30 p.
- Québec. RECYC-QUÉBEC (2012). Répertoire québécois des récupérateurs, recycleurs et valorisateurs. In RECYC-QUÉBEC. *Répertoire*. <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/client/fr/repertoires/rep-recupérateurs.asp> (Page consultée le 3 novembre 2015).
- Québec. Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) (2013). Dossier statistique – Bilan 2013. Québec, SAAQ, 220 p.
- Raumentwicklung, B. (2007). Évaluer la durabilité des projets dans les cantons et les communes. In Office fédéral du développement territorial (ARE). *Évaluer la durabilité*. [goo.gl/OBSNeX](http://goo.gl/OBSNeX) (Page consultée le 10 novembre 2015).
- Rosado, L. (2015). *MFA of Lisboa*. Courrier électronique à Audrey Morris, adresse destinataire : [audrey.morris@usherbrooke.ca](mailto:audrey.morris@usherbrooke.ca)
- Rosado, L., Niza, S. et Ferraro, P. (2014). A Material Flow Accounting Case Study of the Lisbon Metropolitan Area using the Urban Metabolism Analyst Model. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 18, n° 1, p. 84-101.

- Sahely, H.R., Dudding, S. et Kennedy, C. (2003). Estimating the Urban Metabolism of Canadian Cities : Greater Toronto Area Case Study. *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 30, p. 468-483.
- Scultz, N.B. (2007). The Direct Material Inputs into Singapore's Development. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 11, n° 2, p. 117-131.
- Sebai, M. (2015). Discussion au sujet des opportunités d'actions suite à la réalisation d'une analyse de flux de matières. *Entrevue menée par Audrey Morris avec Malaz Sebai, chargé de projet à Second Cycle à Toronto*, 3 novembre 2015, Montréal.
- Stigson, B. (1999). What is Eco-Efficiency ? The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). *In* Anonyme, Sydney, Roundtable on Eco-Efficiency. Sydney, 19 mars 1999.
- Sustainable Europe Research Institute (SERI) et Vienna University of Economics and Business (WU) (2014). Visualising Global Material Flows. *In* SERI WU Vienna. *Data*. <http://www.materialflows.net/data/datadownload/> (Page consultée le 5 novembre 2015).
- Trivier, V. (26 novembre 2015). *Étude d'AFM d'Alterre Bourgogne*. Courrier électronique à Audrey Morris, adresse du destinataire : [audrey.morris@usherbrooke.ca](mailto:audrey.morris@usherbrooke.ca)
- Vega-Azamar, R.E., Glaus, M., Hausler, R., Oropeza-Garcia, N.A. et Romero-Lopez, R. (2013). An emergy analysis for urban environmental sustainability assessment, the Island of Montreal, Canada. *Landscape and Urban Planning*, vol. 118, p. 18-28.
- World Economic Forum (s.d.). The limits of linear consumption. *In* World Economic Forum. *Reports*. <http://reports.weforum.org/toward-the-circular-economy-accelerating-the-scale-up-across-global-supply-chains/the-limits-of-linear-consumption/> (Page consultée le 25 septembre 2015).
- Zhang, Y. et Yang, Z. (2007). Eco-efficiency of urban material metabolism: a case study in Shenzhen, China. *Acta Ecologica Sinica*, vol. 27, n° 8, p. 3124-3131.
- Zhang, Y., Yang, Z., Liu, G. et Yu, X. (2011). Emergy analysis of the urban metabolism of Beijing. *Ecological Modelling*, vol. 222, p. 2377-2384.

## BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme (15 août 2015). La Terre vit à crédit depuis jeudi. In Société Radio-Canada. *Paris Climat 2015*. <http://ici.radio-canada.ca/climat-paris-2015> (Page consultée le 20 août 2015).
- Asian Development Bank (ADB). Urban Metabolism of six Asian Cities. In ADB. *Publications*. <http://www.adb.org/publications/urban-metabolism-six-asian-cities> (Page consultée le 25 août 2015).
- Athanassiadis, A. et Bouillard, P. (s.d.). Métabolisme urbain pour la Région Bruxelles-Capitale. In Université libre de Bruxelles. *Di fusion*. <http://difusion.ulb.ac.be/vufind/Record/ULB-DIPOT:oai:dipot.ulb.ac.be:2013/153098/Holdings> (Page consultée le 2 novembre 2015).
- Athanassidis, A. (2012). *Cycling urbain material flows : using waste as resources*. Mémoire de maîtrise, Université Autonome de Madrid, Madrid, Espagne, 110 p.
- Baker, L.B., Hope, D., Edmonds, J. et Lauver, L. (2001). Nitrogen Balance for the Central Arizona-Phoenix (CAP) Ecosystem. *Ecosystems*, vol. 4, p. 582-602.
- Barles, S. (2008). Comprendre et maîtriser le métabolisme urbain et l’empreinte environnementale des villes. *Responsabilité & Environnement*, vol. 52, p. 21-26.
- Dittrich, M., Giljum, S., Lutter, S. et Polzin, C. (2012). Green economies around the world ?. In Sustainable Europe Research Institute (SERI). *Publications*. [http://seri.at/wp-content/uploads/2012/06/green\\_economies\\_around\\_the\\_world.pdf](http://seri.at/wp-content/uploads/2012/06/green_economies_around_the_world.pdf) (Page consultée le 15 août 2015).
- Eurostat (2013). *Economy-wide Material Flow Accounts (EW-MFA)*. Luxembourg, European Communities, 87 p.
- Forkes, J. (2007). Nitrogen balance for the urban food metabolism of Toronto, Canada. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 52, p. 74-94.
- Holmes, T. et Pincetl, S. (2012). Urban Metabolism Literature Review. In Institute of the Environment and Sustainability. *Newsroom*. <http://www.web.environment.ucla.edu/media/files/Urban-Metabolism-Literature-Review2012-44-fea.pdf> (Page consultée le 12 octobre 2015).
- Kennedy, C., Baker, L. et Brattebo, H. (2014). Analyzing a city's metabolism. In Mazmanian, D.A. et Blanco, H., *Elgar Companion to Sustainable Cities : Strategies, Methods, and Outlook* (chap. 13, p. 225-282). Cheltenham et Northampton, Edward Elgar Publishing.
- Kennedy, C., Cuddihy, J. et Engel-Yan, J. (2007). The Changing Metabolism of Cities. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 11, n° 2, p. 43-59.
- Laner, D., Rechberger, H. et Astrup, T. (2014). Systematic Evaluation of Uncertainty in Material Flow Analysis. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 18, n° 6, p. 859-870.

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la forêt (Agreste). (2008). Méthodologie - Récolte de bois et production de sciages en 2008. *In* Agreste. *Enquêtes*.  
<http://agreste.agriculture.gouv.fr/enquetes/forets-bois-et-derives/recolte-de-bois-et-production-de/>  
(Page consultée le 10 novembre 2015).

Singh, S.J., Grunbuhel, C.M., Schandl, H. et Schulz, N. (2001). Social Metabolism and Labour in a Local Context: Changing Environmental Relations on Trinket Island<sup>1</sup>. *Population and Environment*, vol. 23, n° 1, p. 71-104.

**ANNEXE 1 - LISTE DES INDICATEURS UTILISES POUR INTERPRETER LES RESULTATS D'UNE ANALYSE DE FLUX DE MATIERES SELON LA METHODE EUROSTAT 2001** (tirée de France. MEDDE, 2014)

Indicateur / Abréviation	Signification	Composition	Utilisation dans l'interprétation du métabolisme territorial*
<b>Indicateurs d'entrée</b>			
DEU	<i>Domestic Extraction Used</i> ou Extraction intérieure utilisée Ensemble des matières solides, liquides (en dehors de l'eau), gazeuses, extraites du territoire <sup>2</sup> (sol, sous-sol, eaux continentales et marines). On distingue trois grands groupes de matières : les matières minérales, les combustibles fossiles et la biomasse (produits de l'agriculture, de la sylviculture et de la pêche).		L'extraction intérieure utilisée (DEU) traduit l'importance des flux de matières entrant et issus du territoire <sup>2</sup> étudié.
I	Importations Tous types d'importations confondus : matières premières (céréales, pétrole, minerais métalliques...), produits semi-finis (farine, tissus, feuilles ou barres d'acier...) et produits finis (préparations alimentaires, gasoil, vêtements, voitures...).		Les importations renseignent sur le poids des produits de tous types (importations commerciales) et provenant de l'extérieur du territoire <sup>2</sup> étudié. Des informations complémentaires sur l'origine géographique (la région, la France, l'Europe des 27 ou le reste du monde) de ces flux sont également disponibles et renseignent sur les aires d'approvisionnement d'un territoire <sup>2</sup> donné.
DMI	<i>Direct Material Input</i> ou Entrée directe de matière Ensemble des matières entrant directement et physiquement dans le système socio-économique <sup>2</sup> étudié (extraites du territoire <sup>2</sup> et importées) afin de répondre à la demande intérieure et à la production destinée à l'exportation.	DMI = DEU + I	L'indicateur DMI traduit le besoin apparent en matières de l'économie. Il peut être intéressant de suivre la part des importations à l'intérieur du DMI en comparaison avec l'extraction intérieure.
TMI	<i>Total Material Input</i> ou Entrée totale de matière Ensemble des matières entrant physiquement dans le système socio-économique <sup>2</sup> étudié.	TMI = DMI + extraction intérieure inutilisée	L'indicateur TMI intègre à l'indicateur DMI les flux indirects que sont les extractions intérieures inutilisées, c'est-à-dire les flux de matières qui ont été déplacés sans entrer dans le système économique. Cet indicateur est important à prendre en compte pour comprendre le poids de ces flux par rapport aux entrées directes.
TMR	<i>Total Material Requirement</i> ou Mobilisation totale de matières Ensemble des matières extraites de la biosphère mobilisée par le système socio-économique <sup>2</sup> étudié, y compris les flux dits « cachés ». Ces derniers comprennent des flux de matières inutilisées : les résidus de récoltes laissés sur place et l'érosion des sols par les pratiques agricoles pour la biomasse, les terres excavées lors de l'extraction de minerais ou lors de travaux de construction ; dans le cas des importations, des flux indirects de matières utilisées s'ajoutent : ils correspondent non seulement aux combustibles énergétiques mobilisés pour la production de biens et leur transport avant l'entrée dans le territoire, mais aussi, pour les produits finis et semi-finis, aux déchets de toute nature engendrés par leur production hors du territoire <sup>2</sup> .	TMR = DMI + extraction intérieure inutilisée + flux indirects associés aux importations	L'intégration des flux indirects liés aux importations permet de tenir compte des répercussions du fonctionnement du système socio-économique <sup>2</sup> étudié sur l'environnement à l'étranger et dans les autres territoires français. Il est important de suivre la part de ces flux indirects dans le TMR.
BI	<i>Balancing Input</i> ou Flux d'équilibrage entrant (pour mémoire) Oxygène consommé par la respiration humaine et animale et la combustion et azote consommé par le procédé Haber Bosch (fiche n° 5, partie 2).		BI n'est pas à proprement parler un indicateur. Il est indiqué ici pour mémoire car il est nécessaire à la détermination de certains indicateurs en application du principe de conservation de la masse.

Indicateur / Abréviation	Signification	Composition	Utilisation dans l'interprétation du métabolisme territorial*
<b>Indicateurs de sortie</b>			
E	<b>Exportations</b> Tous types d'exportations confondus : matières premières (céréales, animaux, minéraux de construction), produits semi-finis (farine, feuilles ou barres d'acier) et produits finis (fromages, vins, essence, voitures).		Les exportations renseignent sur le poids des produits de tous types (exportations commerciales) sortant du territoire <sup>2</sup> étudié. Des informations complémentaires sur la destination géographique (la région, la France, l'Europe des 27 ou le reste du monde) de ces flux sont également disponibles et renseignent sur les aires d'exportation d'un territoire <sup>2</sup> donné.
DPO	<b>Domestic Processed Output</b> ou Émissions vers la nature Ensemble des matières rejetées par le système socio-économique <sup>2</sup> étudié dans l'environnement après utilisation (quelle qu'elle soit), y compris celles induites par la fabrication des produits exportés : émissions dans l'air, rejets dans l'eau, usage dissipatif (engrais par exemple), déchets mis en décharge <sup>4</sup> .		L'indicateur DPO est à comparer aux autres indicateurs plus classiques tels que DMC (ci-dessous), DEU, E et I ; il permet de mesurer les enjeux associés à ces rejets. Il est utile de distinguer la part des émissions atmosphériques des autres types de rejet.
TDO	<b>Total Domestic Output</b> ou Émissions totales vers la nature Ensemble des matières rejetées dans l'environnement, y compris l'extraction inutilisée	$TDO = DPO + \text{extraction intérieure inutilisée}$	L'indicateur TDO complète l'indicateur DPO en rendant compte de l'ensemble des rejets intérieurs vers la nature. Il donne une image plus complète des pressions aval exercées sur l'environnement.
BO	<b>Balancing Output</b> ou Flux d'équilibrage sortant (pour mémoire) Eau et dioxyde de carbone produits par la respiration humaine et animale, eau produite par la combustion.		BO n'est pas à proprement parler un indicateur. Il est indiqué ici pour mémoire car il est nécessaire à la détermination de certains indicateurs en application du principe de conservation de la masse.
<b>Indicateurs de consommation</b>			
DMC	<b>Domestic Material Consumption</b> ou Consommation intérieure apparente de matières Ensemble des matières consommées par le système socio-économique <sup>2</sup> étudié, au sens économique du terme.	$DMC = DEU + I - E = DMI - E$	L'indicateur DMC est classique en économie <sup>2</sup> et représente la consommation nette intérieure d'un territoire <sup>2</sup> donné.
DMC <sub>p</sub>	<b>Physical Domestic Material Consumption</b> ou Consommation intérieure physique de matières Ensemble des matières physiquement consommées au sein du système socio-économique <sup>2</sup> étudié.	$DMC_p = DEU + I + BI - E - BO = DPO + NAS$	En prenant en compte les flux d'équilibrage BI et BO, l'indicateur DMC <sub>p</sub> représente la consommation physique nette intérieure d'un territoire <sup>2</sup> donné. Par application du principe de conservation de la masse, il est égal à la somme de DPO et de NAS. La part respective de DPO et de NAS dans DMC <sub>p</sub> permet de mieux qualifier le type de fonctionnement du territoire.
TMC	<b>Total Material Consumption</b> ou Consommation intérieure totale estimée de matières Ensemble des matières consommées par le territoire, incluant l'extraction intérieure inutilisée et les flux indirects associés aux importations.	$TMC = DMC + \text{extraction intérieure inutilisée} + \text{flux indirects associés aux importations} - \text{flux indirects associés aux exportations}$	L'indicateur TMC étend la notion de consommation à l'ensemble des flux indirects pour comprendre le poids total de matières liées à la consommation ou engendrées par les activités économiques d'un territoire <sup>2</sup> donné.



Indicateur / Abréviation	Signification	Composition	Utilisation dans l'interprétation du métabolisme territorial*
<b>Indicateur de stock</b>			
NAS	<b>Net Addition to Stock</b> ou Addition nette de stock L'addition nette de stock correspond à la différence entre les nouveaux flux de matières qui s'ajoutent chaque année au système socio-économique <sup>2</sup> étudié, sous forme de constructions, d'infrastructures, de biens durables (voitures, équipements industriels et ménagers, etc.), et les anciens qui en sont retirés sans recyclage (mise en centre de stockage de déchets de démolition de bâtiments, de déchets de biens durables ultimes, etc.).	$NAS = DMI + BI - DPO - \text{exportations} - BO - DMC_{\text{ext}} - DPO$	La prise en compte du stock traduit le déplacement des matières du milieu naturel vers la société, et donc constitue l'un des indicateurs de l'anthropisation du territoire. Elle est aussi nécessaire dans une vision à plus long terme, puisque le stock d'aujourd'hui sera probablement le déchet de demain et, a fortiori, une ressource potentielle.
<b>Indicateur de balance commerciale physique</b>			
PTB	<b>Physical Trade Balance</b> ou Balance commerciale physique Pendant physique de la balance commerciale monétaire.	Balance commerciale physique apparente : $PTB = E - I$  Balance commerciale physique totale : $PTB = E + \text{flux indirects associés aux exportations} - I - \text{flux indirects associés aux importations}$	L'évolution de la balance physique peut être comparée à celle de la balance commerciale du territoire. Cette comparaison peut notamment permettre de voir si le territoire <sup>2</sup> exporte des produits qui présentent une plus grande valeur monétaire que ceux qu'il importe, ou si c'est le cas inverse.
<b>Indicateurs d'efficience</b>			
MI	<b>Material Intensity</b> ou Intensité Matières L'Intensité Matières indique la quantité de matières associée à la création d'une unité de valeur ajoutée brute.	$DMC/PIB$ ou $DMI/PIB$ ou $TMR/PIB$	Ces indicateurs mettent en relation consommation matérielle et production de richesse. Ils sont utiles dans l'étude du découplage <sup>2</sup> entre consommation de matières et croissance économique.
MP	<b>Material Productivity</b> ou Productivité Matière La productivité de matières représente la quantité de valeur ajoutée brute par tonne de matières utilisées.	$PIB/DMC$ ou $PIB/DMI$ ou $PIB/TMR$	Il est surtout intéressant d'étudier leurs variations sur une période longue. Ils sont également utiles dans les approches comparatives entre territoires.