



	Étude du rayon d'action des entrepreneurs généraux pour l'opérationnalisation de l'ACV au regard des modes de réalisation
Auteur: Author:	Camille Tesner
Date:	2022
Type:	Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis
	Tesner, C. (2022). Étude du rayon d'action des entrepreneurs généraux pour l'opérationnalisation de l'ACV au regard des modes de réalisation [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal]. PolyPublie. https://publications.polymtl.ca/10562/

Document en libre accès dans PolyPublie Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: PolyPublie URL:	https://publications.polymtl.ca/10562/
Directeurs de recherche: Advisors:	Robert Pellerin, & Mario Bourgault
Programme: Program:	Maîtrise recherche en génie industriel

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Étude du rayon d'action des entrepreneurs généraux pour l'opérationnalisation de l'ACV au regard des modes de réalisation

CAMILLE TESNER

Département de mathématiques et de génie industriel

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*Génie industriel

Octobre 2022

© Camille Tesner, 2022.

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

Étude du rayon d'action des entrepreneurs généraux pour l'opérationnalisation de l'ACV au regard des modes de réalisation

présenté par Camille TESNER

en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

Christophe DANJOU, président

Robert PELLERIN, membre et directeur de recherche

Mario BOURGAULT, membre et codirecteur de recherche

Ivanka IORDANOVA, membre

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier mes directeurs de recherche, M. Mario BOURGAULT et M. Robert PELLERIN, professeurs à Polytechnique Montréal. Ils m'ont apporté l'encadrement, la disponibilité, l'expertise, la confiance et le support nécessaires pour réaliser mon projet de recherche. Ils m'ont également ouvert l'opportunité de collaborer avec des professionnels et organismes de recherche pour ce projet.

Mes remerciements s'adressent également à la Chaire industrielle de recherche Pomerleau, à la Chaire Jarislowsky/SNC-Lavalin, ainsi qu'à l'organisme de recherche KHEOPS. Toute ma reconnaissance va aux partenaires de ces chaires de recherche pour le soutien financier qui m'a permis de réaliser ce projet. Je tiens à remercier plus particulièrement ceux qui ont contribué à la réalisation de ce projet, particulièrement aux professionnels exerçant chez notre partenaire industriel pour leur disponibilité, leur collaboration précieuse et leur accueil chaleureux.

Un grand merci à l'équipe de patinage artistique adulte de l'aréna Camillien-Houde, et plus particulièrement à Isabelle et Margot qui ont rendu cette aventure glacée inoubliable.

Plus personnellement, je remercie Vivien, qui partage ma vie, pour son soutien et ses encouragements au quotidien, ainsi que pour l'aventure canadienne que nous partageons. Je tiens à remercier chaleureusement mes parents qui ont toujours su m'encourager, croire en moi et me soutenir outre-Atlantique, ainsi que ma sœur et ma famille. Une pensée particulière à Lynda pour son soutien indéfectible, sa bonne humeur et sa compréhension malgré la distance. Enfin, je tiens à remercier tous mes amis de Montréal et de France pour leur motivation et leur soutien.

RÉSUMÉ

Le secteur de la construction compte parmi les industries les plus polluantes en termes de production de déchets et d'émissions carbone. Traditionnellement peu axée sur les préoccupations environnementales, l'industrie de la construction s'oriente de plus en plus vers des pratiques plus vertes, en réponse à la prise de conscience de l'urgence climatique. Cette démarche s'inscrit dans une demande croissante d'ériger des ouvrages plus respectueux de l'environnement et vise à répondre à la création de nouvelles normes et labels environnementaux pour la construction. Les actions à mener pour réduire l'impact environnemental de cette industrie sont nombreuses. L'Analyse du cycle de vie (ACV), outil de mesure de l'impact environnemental, présente ici une réelle opportunité pour accompagner la transition vers une construction plus durable. Toutefois, l'ACV reste encore peu utilisé dans l'industrie de la construction au Canada. L'opérationnalisation de l'ACV dans les projets de construction présente un véritable défi, puisqu'elle implique des modifications du processus de projet d'un point de vue organisationnel, dans un processus long et complexe aux multiples parties prenantes.

L'objectif de ce sujet de recherche consiste à développer une méthodologie d'opérationnalisation d'ACV au regard des modes de réalisation du point de vue de l'entrepreneur général. Ce projet de recherche est motivé par le manque de documentation sur le sujet dans la littérature scientifique, ainsi que par la volonté du partenaire industriel, à terme, de mettre en place l'ACV dans ses projets. Le recours à la méthodologie DRM (Design Research Methodology) a permis de proposer un modèle adapté aux besoins du partenaire industriel, tout en gardant une démarche scientifiquement rigoureuse.

Notre proposition s'appuie sur la méthodologie de cartographie BPMN (Business Process Model and Notation), ainsi que sur la méthodologie de création de modèles MEM connus dans la littérature. Les cartographies proposées permettent de comparer le rayon d'action de l'entrepreneur général dans l'opérationnalisation d'ACV entre les trois modes de réalisation étudiés, que sont la conception-soumission-construction, la gérance de construction et la conception-construction. Les cartographies peuvent également servir de plan d'action pour l'entrepreneur général qui souhaite, ou doit, sur demande du donneur d'ouvrage, avoir recours à l'ACV dans ses projets. Elles permettent d'intégrer les activités liées à la mise en œuvre de l'ACV dans les activités courantes

de l'entrepreneur général et de comprendre le rôle des différents acteurs dans cette opérationnalisation.

L'application industrielle de cette proposition n'a pas pu être menée, car le projet d'ACV chez le partenaire industriel n'est pas à un stade de maturité assez avancé. Toutefois, une évaluation de la proposition par des professionnels exerçant chez le partenaire a permis d'évaluer la proposition et de proposer des pistes d'amélioration.

Le modèle d'opérationnalisation ACV élaboré a permis de confirmer que les modes de réalisation plus intégrés, tels que la conception construction, offrent une plus grande marge de manœuvre à l'entrepreneur général qui souhaite prendre part à la mise en œuvre de l'ACV. Le modèle permet également de guider l'entrepreneur général dans les activités à mettre en place, dans les trois modes de réalisation étudiés, afin de mettre en œuvre l'ACV dans ses projets.

Les principales limitations de notre projet de recherche résident dans l'absence d'application industrielle de la proposition. Le modèle proposé a été élaboré sur la base de l'expérience de différents acteurs. Toutefois, l'opérationnalisation réelle de l'ACV dans les projets pourrait refléter une démarche différente de celle qui a été imaginée, et pourrait poser de nouvelles problématiques. Cette étude a permis de mettre en évidence de futures pistes de recherche. Entre autres, le développement éventuel d'une matrice de responsabilités de type « RACI » permettrait de compléter le modèle créé lors de ce projet. L'étude a été réalisée dans un temps donné et restreint qui ne permet pas l'application de la proposition chez le partenaire industriel. L'application du modèle chez le partenaire ou au sein d'autres entrepreneurs généraux en situation réelle permettrait de l'améliorer. Enfin, l'opérationnalisation de l'ACV pourrait être étudiée dans des projets à mode de réalisation intégré de type « IPD » qui se développent ces dernières années, mais pour lesquels les retours d'expérience sont peu nombreux. À terme, des retours d'expérience sur des cas d'études d'opérationnalisation ACV réels en construction permettraient de nourrir l'industrie de la construction sur le sujet. Ces axes de recherche permettraient de faire avancer la recherche sur l'ACV et d'encourager son opérationnalisation dans le secteur de la construction.

ABSTRACT

The construction sector is part of the most polluting industries regarding waste production and carbon emissions. Traditionally not highly environmentally conscious, the construction industry is increasingly moving towards greener practices in response to the growing awareness of the climate emergency. This transformation is part of an increasing demand for more environmentally friendly construction and is a response to creating new environmental standards and labels for construction. Many actions must be taken to reduce the environmental impact of this industry. LCA presents a real opportunity to support the transition to more sustainable construction, as a tool for measuring environmental impacts. However, LCA has not yet entered the construction industry in Canada. The operationalization of LCA in construction projects embodies a real challenge since it implies changes in the project process from an organizational point of view in a long and complex process that includes multiple stakeholders.

The objective of this research paper is to develop an LCA operationalization strategy in light of the delivery modes, from the general contractor's outlook. This research project is motivated by the lack of documentation on the subject in the scientific literature, as well as by the industrial partner's goal, in the long term, to implement LCA in its projects. The use of the DRM (Design Research Methodology) allowed us to propose a model adapted to the industrial partner's needs, while keeping a scientifically rigorous approach.

Our proposal is based on the BPMN (Business Process Model and Notation) mapping methodology, as well as on the MEM model creation methodology known in the literature. The proposed mappings enable a comparison of the general contractor's scope of action in operationalizing LCAs between the three delivery modes studied. These modes are design-bid-build, construction management, and design-build. The mappings can also be used as an action plan for the general contractor who wishes, or is asked by the client, to use LCA in his projects. The model enables understanding how the activities related to the LCA implementation integrate into the general contractor's day-to-day activities. The mappings also enable understanding the different actors' roles in this operationalization.

The industrial application of this proposal could not be conducted because the LCA industrial partner's project is not mature enough. However, an evaluation of the proposal by professionals

working in the partner's company has allowed us to assess the proposal and propose improvement paths.

The LCA operationalization model confirmed that the more integrated delivery modes, such as design-build, offer greater flexibility to the general contractor who wishes to participate in the LCA implementation. The model also provides guidance to the general contractor on the activities that need to be implemented in the three delivery modes studied to implement LCA in their projects.

The main limitations of our research project lie in the lack of industrial application of the proposal. The proposed model has been developed on the basis of the different actors' experiences and knowledge. However, the actual operationalization of LCA in projects could reflect a different approach than the one imagined and could raise new issues. This study has allowed us to highlight future research guidelines. Among others, the eventual development of a RACI matrix would complement the model created during this project. The study was carried out in a given and limited timeframe, which did not allow for the proposal's application in the partner company. The application of the model at the partner's site or at other general contractors in a real situation would improve it. Finally, the operationalization of LCA could be studied in projects with an integrated delivery mode such as IPD. This kind of delivery mode is currently increasing, but there is little feedback at the moment. In the long term, feedback on real LCA operationalization case studies in construction would allow stakeholders to feed the construction industry on the subject. These lines of research would help advance research on LCA and encourage its operationalization in the construction sector.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEN	MENTSIII
RÉSUMÉ	IV
ABSTRACT.	VI
TABLE DES	MATIÈRESVIII
LISTE DES T	TABLEAUXXII
LISTE DES F	FIGURES XIII
LISTE DES S	SIGLES ET ABRÉVIATIONSXV
LISTE DES A	ANNEXES XVI
CHAPITRE 1	INTRODUCTION1
CHAPITRE 2	REVUE DE LITTÉRATURE4
2.1 Intro	oduction4
2.2 Prés	sentation des concepts clés4
2.2.1	Méthodologie ACV4
2.2.2	Modes de réalisation en projet de construction
2.3 Stra	tégie de recherche de la revue de littérature
2.4 Rés	ultats14
2.4.1	Premiers résultats : classification de la littérature retenue
2.4.2	Défis de l'ACV et du développement durable dans le secteur de la construction .17
2.4.3	Les modes de réalisation en construction
2.4.4	Les modélisations d'ACV et de pratiques durables
2.4.5	Modes de réalisation pour les bâtiments durables et place de l'entrepreneur général
	26
2.5 Rev	rue critique31

2.6	Cor	nclusion	34
СНАРІ	TRE 3	MÉTHODOLOGIE	36
3.1	Intr	oduction	36
3.2	Obj	ectifs de recherche	36
3.3	Dér	narche de recherche proposée	37
3.3	3.1	Clarification de la recherche	38
3.3	3.2	Étude descriptive 1	39
3.3	3.3	Étude prescriptive	40
3.3	3.4	Étude descriptive 2	40
3.4	Cor	nclusion	41
СНАРІ	TRE 4	PREMIÈRE ÉTUDE DESCRIPTIVE - ANALYSE DE L'EXISTANT	42
4.1	Intr	oduction	42
4.2	Mis	e en contexte	42
4.3	Chr	onologie d'intervention de l'entrepreneur général en fonction du mode de réa	lisation
en	jeu		43
4.3	3.1	Conception-Soumission-Construction	44
4.3	3.2	Gérance de construction	44
4.3	3.3	Conception-Construction	45
4.3	3.4	Chronologie d'intervention dans les modes de réalisation, selon le par	rtenaire
	indust	riel	47
4.4	Ma	turité du projet d'ACV chez le partenaire industriel	49
4.5	Por	tée de l'ACV envisagée chez le partenaire industriel	51
4.6	Cor	aclusion : spécifications pour la proposition de modèle	53
CHAPI	TRE 5	ÉTUDE PRESCRIPTIVE	54
5.1	Intr	oduction	54

5.2	Cı	itères méthodologiques	54
5.3	De	éveloppement de la méthode	56
5	5.3.1	Découpage des processus et sous-processus	57
5	5.3.2	Élaboration de la liste des activités et rôles	59
5	5.3.3	Les techniques	59
5	5.3.4	Les résultats	60
5	5.3.5	Le modèle d'information	60
5	5.3.6	Acteur à l'initiative de l'ACV	60
5.4	Pr	ocessus de pré-construction en conception-soumission-construction	61
5	5.4.1	Modèle d'information et prévalidation du modèle	63
5.5	Pr	ocessus de pré-construction en gérance pour services et construction	63
5	5.5.1	Modèle d'information et prévalidation du modèle	66
5.6	Pr	ocessus de pré-construction en conception construction	67
5	5.6.1	Modèle d'information et prévalidation du modèle	72
5.7	Pr	ocessus de construction	73
5	5.7.1	Modèle d'information et prévalidation du modèle	78
5.8	Di	scussion	80
5.9	Co	onclusion	81
CHAI	PITRE	6 SECONDE ÉTUDE DESCRIPTIVE	82
6.1	In	troduction	82
6.2	Év	valuation de la méthode par le partenaire industriel	82
ϵ	5.2.1	Indicateurs d'acceptation des processus adaptés au contexte de l'étude	82
ϵ	5.2.2	Méthode d'évaluation	84
ϵ	5.2.3	Résultats de l'évaluation par le partenaire	86

6.2.4	Interprétation des résultats	87
6.2.5	Discussion générale	90
CHAPITRE 7	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	.92
RÉFÉRENCE	S	.96

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Mots clés utilisés pour les requêtes dans les bases de données
Tableau 2.2 Résultats de la sélection
Tableau 2.3 Analyse des modèles de la revue de littérature selon les critères du MEM32
Tableau 5.1 Intervenants interrogés de l'entreprise partenaire
Tableau 6.1 Indicateurs d'évaluation du modèle
Tableau 6.2 Profil des professionnels audités pour l'évaluation du modèle
Tableau 6.3 Calcul des indicateurs pour les différents modèles proposés
Tableau A. 1 Activités, intrants, extrants du processus de pré-construction en conceptior soumission construction
Tableau B. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en gérance pour services et construction
Tableau C. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en conception construction
Tableau D. 1 Activités, intrants et extrants du processus de construction
Tableau E. 1 Activités, intrants et extrants du sous-processus d'évaluation des solutions de conception par étude ACV
Tableau F. 1 Activités, intrants et extrants du sous-processus de vérification des fiches techniques

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 Schéma des flux élémentaires échangés entre technosphère et écosphère
Figure 2.2 Schéma simplifié d'un système de produit
Figure 2.3 Cadre de l'analyse du cycle de vie et applications, adapté de ISO 140406
Figure 2.4 Les étapes de l'analyse d'inventaire du cycle de vie
Figure 2.5 Exemple de caractérisation des facteurs selon la méthode Impact World+9
Figure 3.1 : Application de la démarche DRM au projet de recherche
Figure 4.1 Schéma représentant le mode de fonctionnement du consortium en conception construction
Figure 4.2 Chronologie d'intervention de l'entrepreneur général dans les projets de construction en fonction du mode de réalisation
Figure 4.3 Schéma de chevauchement de la conception et de la construction des lots49
Figure 4.4 Phases de l'initiative ACV chez le partenaire industriel
Figure 4.5 Deux manières d'aborder l'ACV pour les projets de construction51
Figure 5.1 Symboles de la cartographie BPMN
Figure 5.2 Découpage des processus d'affaires pour chaque mode de réalisation étudié
Figure 5.3 Modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de pré-construction en conception soumission construction
Figure 5.4 Diagramme d'interrelation du modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de pré-construction en conception soumission construction
Figure 5.5 Modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de pré-construction en gérance pour services et construction
Figure 5.6 Diagramme d'interrelation du modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de pré-construction en gérance pour services et construction

Figure 5.7 Modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de pré-construction
en conception construction70
Figure 5.8 Sous-processus d'évaluation des solutions de conception par étude ACV71
Figure 5.9 Diagramme d'interrelation du modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le
processus de pré-construction en conception construction
Figure 5.10 Diagramme d'interrelation du sous-processus d'évaluation de la conception par ACV
72
Figure 5.11 Modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de construction.74
Figure 5.12 Sous-processus de vérification des fiches techniques75
Figure 5.13 Diagramme d'interrelation du modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le
processus de construction
Figure 5.14 Diagramme d'interrelation du sous-processus de vérification des fiches techniques .79
Figure 6.1 Déroulement de l'audit
Figure G. 1 Schéma des étapes des entrevues semi-structurées

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ACV Analyse du Cycle de Vie

BIM Building Information Modeling

BPMN Business Process Model and Notation

CM Construction Manager

CMAR Construction Management At Risk

CI Conception Intégrée

DALY Disability-Adjusted Life Years

DB Design-Build

DBB Design Bid Build

DfDD Design for disassembly and deconstruction

ENSLIC ENergy Saving through promotion of Life Cycle Assessment in buildings

EPD Environmental Product Declaration

GMP Guaranteed Maximum Price

IPD Integrated Project Delivery

MEM Mandatory Elements of a Method

nZEB nearly Zero Energy Building

O-LCA Analyse du Cycle de Vie Organisationnel

RACI Responsible, Accountable, Consulted, Informed

RSE Responsabilité Sociale d'Entreprise

TQC Tel Que Construit

LISTE DES ANNEXES

Annexe A	Détail sur le processus de pré-construction en conception soumission construction	99
Annexe B	Détail sur le processus de pré-construction en gérance pour services et constructi	on
	1	02
Annexe C	Détail sur le processus de pré-construction en conception construction1	07
Annexe D	Détail sur le processus de construction	15
Annexe E	Détail sur le sous-processus d'évaluation des solutions de conception par étude a	ıcv
	1	22
Annexe F	Détail sur le sous-processus de vérification des fiches techniques1	25
Annexe G	Description des entrevues semi-structurées pour la validation des modèles1	26

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

De nos jours, les préoccupations environnementales sont de plus en plus mises en avant dans l'industrie, en réponse à la prise de conscience de l'urgence climatique. Dans une ère où les performances environnementales prennent une place importante, l'ACV (Analyse du cycle de vie) est un outil plein de potentiel. C'est notamment par cette méthode que sont calculés les indices carbone affichés sur certains produits commercialisés.

La méthode ACV est une méthode de calcul qui permet de dresser un bilan environnemental d'un produit. L'ACV est issue du concept de développement durable, défini pour la première fois en 1987 dans le rapport Brundtland émis par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations unies, 1987). Cette méthode permet de quantifier l'impact environnemental d'un produit. La connaissance de cet impact permet ensuite de l'optimiser en modifiant certains aspects de son cycle de vie, et en comparant les quantifications des différents scénarios.

L'ACV propose depuis les années 90 une approche multicritère, qui prend en considération les flux de l'ensemble du cycle de vie d'un produit, de l'extraction des matières premières jusqu'à sa fin de vie. La méthode ACV est définie par les normes ISO14040 et ISO14044 et requiert une collection importante de données. Cependant, par choix de commodité et simplicité, la portée de l'analyse peut être menée seulement sur certaines phases de ce cycle.

L'ACV présente un fort potentiel pour le secteur de la construction. En effet, ce dernier est un des domaines industriels qui produit le plus de déchets au monde, et qui, traditionnellement axé sur la performance coût-délai, se préoccupait peu des considérations environnementales. Il est estimé que le volume de déchets générés par la construction doublera d'ici 2025, pour atteindre 2,2 milliards de tonnes par an (Transparency Market Research). Par ailleurs, l'industrie de la construction représentait à elle seule 37% des émissions carbone mondiales en 2020 (UNEP Program, Global Alliance for Buildings and Construction, 2021). En outre, les labels environnementaux pour la construction ont fait leur apparition, devenant aujourd'hui un standard à atteindre en termes de construction verte. Dans ce contexte, les outils de mesure de performance environnementale tels

que l'analyse du cycle de vie représentent une grande opportunité pour les industriels du secteur de la construction.

Ayant un rôle majeur à jouer, les acteurs de la construction s'intéressent depuis les années 80 à la notion de bâtiment durable, ou construction verte ("green building") afin de proposer des solutions à moindre coût environnemental. Le programme pour l'environnement des Nations unies a indiqué, dans son *Global Status Report* de 2021, que depuis 2015, 62 pays supplémentaires ont mis en place des réglementations énergétiques nationales relatives au secteur de la construction, ce qui porte ce chiffre à 80. Cette transition se veut encourageante, cependant, les objectifs fixés à un bilan carbone nul du secteur de la construction sont encore loin et les industriels doivent poursuivre leurs efforts. De la gestion des déchets et de la consommation des ressources sur site, à la gestion des approvisionnements et matières premières, les actions envisageables sont nombreuses. Afin d'améliorer les performances environnementales de leur activité, les industriels doivent être capables dans un premier temps de quantifier leur empreinte environnementale, puis dans un second de l'optimiser.

Au sein de l'écosystème de la construction, les entrepreneurs généraux assument un rôle clé dans la mise en place de stratégies RSE (Responsabilité sociale d'entreprise) pouvant atténuer les effets négatifs sur l'environnement. À cet égard, des stratégies proactives telles que l'usage et la promotion de l'ACV peuvent même constituer un avantage compétitif non négligeable. Toutefois, l'industrie de la construction est un secteur industriel attaché à ses méthodes traditionnelles, et présente de ce fait une grande résistance au changement. De plus, un projet de construction est hautement complexe. Il implique de nombreuses parties prenantes incluant plusieurs corps de métiers et s'articule autour d'une grande quantité de lots différents, ce qui rend les changements plus difficiles à implanter.

La mise en place d'ACV dans le secteur de la construction implique une modification du processus de projet d'un point de vue organisationnel (risques et responsabilités), au sein d'un processus de construction connu pour être long et complexe. Cette complexité est augmentée par le fait que chaque projet est unique en construction. En effet, mener une ACV nécessite l'implication et la coordination de plusieurs parties prenantes très tôt dans le projet. D'après MacKenzie (2019), afin d'optimiser au mieux un design, l'approche de processus ACV doit être intégrée aux processus d'affaires courants le plus tôt possible. Cependant, la latitude décisionnelle et l'intervention de

l'entrepreneur général sont grandement conditionnées par le mode de réalisation choisi pour un projet, de même que le partage des rôles, risques et responsabilités entre les parties prenantes. Les deux barrières les plus importantes à la mise en place de pratiques durables sont le manque de connaissance et d'expertise autour de celles-ci, ainsi qu'une crainte de ralentir la livraison d'un projet (Tafazzoli et al., 2019). Comme le confirment Darko et Chan (2016), il est nécessaire d'étudier les barrières qui se dressent quant à l'adoption de pratiques vertes pour la construction, et d'ériger des méthodologies qui permettent de s'en affranchir.

Au regard de la complexité que représente la mise en place d'une ACV en construction, il est aisé de comprendre les difficultés auxquelles l'entrepreneur général se heurte.

L'enjeu de ce projet de recherche est d'identifier le rôle de l'entrepreneur général dans la démarche opérationnelle d'ACV en fonction des modes de réalisation, d'identifier les barrières qui existent et de proposer des solutions afin d'améliorer la maîtrise de tels projets. L'objectif général est la mise en place d'une méthodologie d'opérationnalisation d'ACV au regard des modes de réalisation du point de vue de l'entrepreneur général. Ce projet de recherche cherche ainsi à permettre aux entrepreneurs généraux de mieux appréhender la mise en place d'ACV dans leurs projets et de comprendre le rayon d'action dont ils disposent pour ce faire en fonction des modes de réalisation en jeu.

Pour mener ce projet de recherche, une revue de littérature sera présentée en Chapitre 2. Elle fait état de l'art des travaux principaux et présente une analyse critique de la littérature dans le domaine de l'ACV, de son opérationnalisation, ainsi que du rôle de l'entrepreneur général en projet de construction au regard des modes de réalisation. Le Chapitre 3 décrit les objectifs et la méthodologie de recherche qui découlent du Chapitre 2. La méthode de recherche s'appuie sur la démarche DRM (Design Research Methodology), qui permet de construire un projet de recherche à partir d'analyses de cas. Le Chapitre 4 analyse l'existant et permet de définir les spécifications de la méthodologie à construire. Le Chapitre 5 décrit la proposition et présente la discussion des modèles. Le Chapitre 6 propose une évaluation de la proposition par les professionnels du secteur de la construction. Enfin, le Chapitre 7 vient clore ce mémoire en concluant sur la proposition, son évaluation, ainsi que ses limites et les futures pistes de recherche.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 Introduction

L'objectif de cette revue de littérature est de présenter un état de l'art en matière de méthodologie ACV et de modes de réalisation en construction. Les concepts clés de ces domaines sont d'abord présentés avant d'exposer la stratégie de recherche des articles pertinents. Le chapitre se poursuit avec la présentation des articles recensés, puis se termine avec une revue critique de ces contributions en s'appuyant sur la définition d'une méthodologie selon Zellner (2011). La présente revue mettra en lumière les lacunes de la littérature qui ont motivé les objectifs de recherche du mémoire.

2.2 Présentation des concepts clés

2.2.1 Méthodologie ACV

2.2.1.1 Comprendre le concept de l'ACV

Afin de comprendre en quoi consiste l'ACV, on peut représenter le monde en deux entités, que sont la technosphère et l'écosphère. On réfère à la technosphère comme l'ensemble des activités humaines, relatives par exemple à la production, la consommation, la gestion de fin de vie, etc. On réfère à l'écosphère comme l'environnement naturel, qui englobe les êtres vivants (biosphère), l'air, l'eau, le sol, et les ressources naturelles, qu'elles soient renouvelables ou non. La technosphère puise ses ressources en matières premières de l'écosphère, et rejette des émissions dans l'écosphère. Ces échanges entre les deux sphères sont appelés flux élémentaires (ou interventions environnementales).

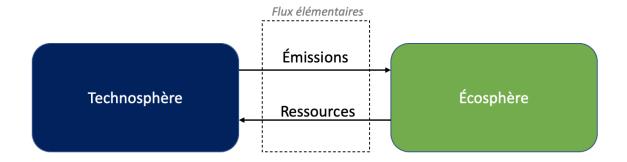


Figure 2.1 Schéma des flux élémentaires échangés entre technosphère et écosphère

Un processus élémentaire est une sorte de boîte pour laquelle on caractérise les intrants et les extrants en termes d'émissions et de ressources. Le processus élémentaire fait partie de la technosphère. Un ensemble de processus élémentaires construit un système de produit. Selon ISO 14040, le système de produit rempli une ou plusieurs fonctions définies, qui sert de modèle au cycle de vie d'un produit. Le système de produit fait partie intégrante de la technosphère.

Les activités représentant les étapes du cycle de vie sont agrégées dans les processus élémentaires.

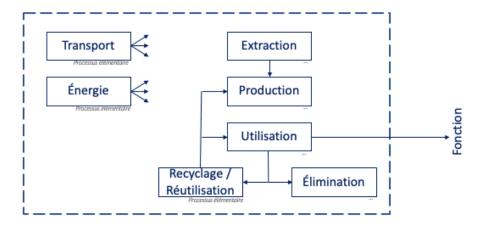


Figure 2.2 Schéma simplifié d'un système de produit

En réalité, un système de produit s'avère plus complexe et détaillé et comprend de nombreuses ramifications. L'ACV consiste à définir le système de produits, soit à étudier les activités liées à un produit ou un service et leurs échanges, à calculer les échanges entre le système de produits et l'environnement (flux élémentaires) et calculer les impacts environnementaux potentiels associés à ces flux élémentaires.

2.2.1.2 Cadre de l'ACV selon l'ISO 14040

La méthodologie ACV est définie par l'Organisation internationale de normalisation, selon les normes ISO 14040 et 14044, telle une "Compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie" (International Organization for Standardization, 2006). Le système de produits y est décrit comme étant un « ensemble de processus élémentaires comportant des flux de produits et des flux élémentaires, remplissant une ou plusieurs fonctions définies, qui sert de modèle au cycle de vie d'un produit » (International Organization for Standardization, 2006) et le produit comme étant un bien ou un service, matériel comme immatériel. Le sens du mot produit peut donc s'étendre audelà des réalités physiques. Cette méthodologie permet de quantifier l'impact environnemental d'un produit en prenant en compte l'ensemble de son cycle de vie du « berceau à la tombe », soit de l'extraction des matériaux le constituant à leur fin de vie. Conformément aux normes ISO, l'ACV s'articule autour de quatre étapes détaillées dans les prochaines sections :

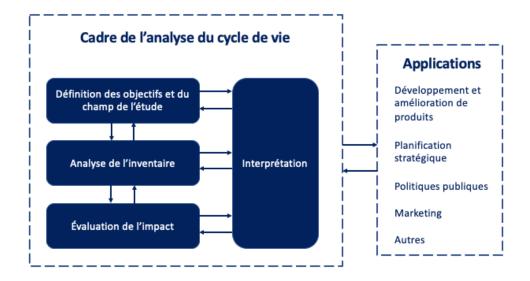


Figure 2.3 Cadre de l'analyse du cycle de vie et applications, adapté de ISO 14040

2.2.1.3 Définition des objectifs et du champ d'étude

La première phase de l'analyse de cycle de vie consiste à définir les objectifs et la portée de l'étude. Définir les objectifs de l'étude consiste à définir le pourquoi, entre autres :

- les raisons qui engendrent cette étude ;

- l'audience visée (publique ou privée, interne ou externe, public technique ou non), sachant qu'une audience publique impliquera de faire vérifier l'ACV par un tiers ; et
- l'application souhaitée (politiques gouvernementales, comparaison de produits, communication, marketing, eco-conception, amélioration produit, etc.).

Définir la portée de l'étude consiste à définir le quoi et le comment :

- le système de produit à analyser ;
- les fonctions de ce système, définies par un verbe d'action ;
- l'unité fonctionnelle qui décrit la fonction du produit de manière quantitative ;
- les flux de référence et paramètres clé;
- les limites du système ; et
- les règles d'attribution.

2.2.1.4 Analyse d'inventaire du cycle de vie

Cette phase correspond à la récupération et au calcul des données du système produit (intrants et extrants). Cette phase se déroule en quatre étapes.

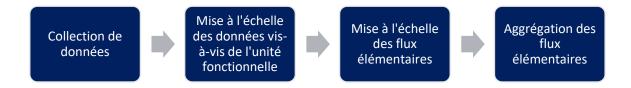


Figure 2.4 Les étapes de l'analyse d'inventaire du cycle de vie

À cette étape, les résultats sont sous la forme de listes de quantités de flux élémentaires. Par exemple, on a une quantité X de CO₂ fossile, Y de charbon, Z de gaz naturel, etc. par unité fonctionnelle. Les quantités de flux élémentaires ne sont pas regroupées sous la même unité à cette étape.

2.2.1.5 Évaluation de l'impact de performance environnementale

Cette phase permet de réduire le nombre de critères pour la prise de décision, d'évaluer l'étendue des potentiels impacts d'un système de produit sur l'environnement et de fournir des informations

afin de pouvoir évaluer les résultats de l'analyse d'inventaires lors de la phase d'interprétation. Il est à noter que les impacts évalués sont des impacts dits **potentiels**, car ils dépendent de la définition que l'on a fait du système de produit, des données et de l'incertitude concernant la modélisation des impacts.

Les calculs des flux de l'inventaire sont menés selon des modèles existants, afin de traduire les flux entrants et extrants en impact de performance environnemental quantifié. Selon le modèle choisi pour l'étude, il existe plusieurs catégories d'impact et de modèles de caractérisation. À cette étape, on associe les flux élémentaires à des catégories d'impact, elles-mêmes associées à des aires de protection. Par exemple, 1 kg de CO₂ fossile contribue à hauteur de X kgCO2eq¹ pour le changement climatique à court terme qui contribue lui-même à hauteur de Y DALY², indicateur relatif à la santé humaine. Un flux élémentaire est susceptible de contribuer à plusieurs catégories d'impact à la fois. L'attribution des flux élémentaires par catégorie d'impact se fait selon différents modèles de caractérisation (ImpactWorld +, ReCiPe, LIME, ILCD, etc), Il en ressort de cette étape, par exemple, l'empreinte carbone du système de produit exprimé dans une unité pour une catégorie d'impact ou une aire de protection.

¹ L'émission comptée en CO₂ équivalent est obtenue en multipliant l'émission d'un gaz à effet de serre par son potentiel de réchauffement global, pour une période donnée. L'émission exprimée en kg CO₂eq permet de comparer différentes émissions dans une unité comparable.

² Le DALY, pour *Disability-Adjusted Life Years*, est une mesure de l'espérance de vie perdue relative à un phénomène étudié.

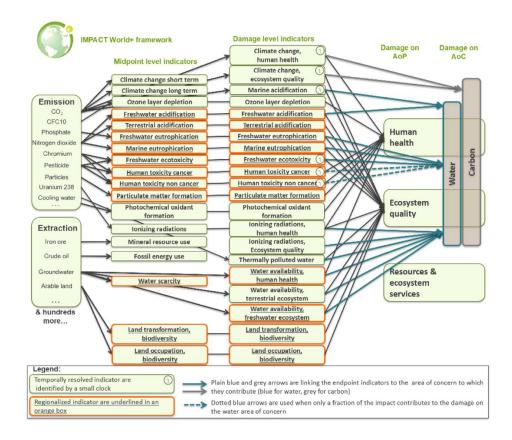


Figure 2.5 Exemple de caractérisation des facteurs selon la méthode Impact World+

Ainsi, l'ACV ne donne pas seulement accès à une quantité de CO2 émise, mais donne accès à de nombreuses informations à la fois sur la santé humaine, la qualité des écosystèmes ou encore sur les ressources. Le type de résultats de l'évaluation de l'impact de performance environnementale dépend de la méthode de caractérisation adoptée.

Enfin, il existe trois étapes qui sont facultatives et qui relèvent des besoins de l'étude.

Il est possible de normaliser, de pondérer et d'agréger les différents critères selon les besoins de l'étude. Par exemple, il pourrait être envisagé d'ajouter une pondération et de hiérarchiser les différentes catégories d'impact ou de normaliser les résultats afin d'être capable de comparer leur amplitude relative à un critère de référence.

2.2.1.6 Interprétation des résultats

Cette étape permet de rendre intelligibles les résultats calculatoires de l'ACV afin de tirer des conclusions et de fournir des recommandations. Il s'agit alors de jouer avec les résultats obtenus à l'étape précédente. Par exemple, on pourra regarder la contribution de l'impact environnemental

pour chaque phase du cycle de vie du système de produit ou encore pour chaque flux élémentaire afin d'identifier les étapes les plus problématiques. Une application dans le bâtiment serait d'identifier les corps d'états qui contribuent le plus aux impacts environnementaux et de chercher à les réduire. Il est également possible de mettre en parallèle les contributions de différents produits pour évaluer leurs impacts relatifs. Enfin, il est possible de mener une analyse de sensibilité qui consiste à évaluer la variation d'impact relativement à la variation d'un paramètre d'entrée. Dans le bâtiment, on peut par exemple faire varier la durée de vie d'une menuiserie ou sa taille et voir en quelles proportions cela influence le résultat de l'ACV.

Enfin, l'étape d'interprétation des résultats contient d'autres phases qui permettent de vérifier la cohérence et la consistance des données, le degré de fiabilité et d'incertitude de l'étude ACV, etc. Ces éléments complémentaires ne seront pas détaillés dans le présent document, mais ils permettent d'interpréter les résultats de la manière la plus juste et partiale possible.

2.2.1.7 Conclusion sur le concept d'ACV

L'ACV permet de comparer plusieurs produits et de communiquer au sujet de leurs performances environnementales. Il peut également servir d'outil d'aide à la prise de décision pour améliorer les performances environnementales d'un produit. Plusieurs secteurs industriels ont déjà recours à la méthodologie ACV afin de déterminer l'impact environnemental de leurs produits.

Comme explicité précédemment, la notion de produit peut s'étendre à des biens et services, qu'ils soient matériels ou immatériels. De ce fait, l'ACV permet entre autres d'étudier des réalités physiques, telles qu'un produit matériel, mais aussi tel un bâtiment ou encore une infrastructure. Le concept calculatoire de l'ACV est défini dans la norme ISO 14040, toutefois, cette norme n'indique pas les processus d'affaires impliqués par la mise en œuvre de l'ACV. La revue de littérature a ainsi pour but de prendre connaissance des publications au sujet de l'opérationnalisation de l'ACV.

2.2.2 Modes de réalisation en projet de construction

Un mode de réalisation est le nom donné à la stratégie de répartition des rôles et responsabilités au sein des parties prenantes impliquées dans un projet de construction. Cette répartition concerne tant le volet technique lié à la réalisation même (conception, pré-construction, construction) que les volets de financement, d'opération et de maintenance de l'infrastructure. Bien qu'il existe plusieurs

modes selon les juridictions et les secteurs, les trois modes les plus fréquents au Canada sont les suivants (Bourgault & Perrier, 2021) :

- Conception-Soumission-Construction, traduit en anglais par Design-Bid-Build (DBB), système dans lequel le client commissionne des architectes et/ou ingénieurs afin d'élaborer le design du projet, avant de lancer l'appel d'offres pour sélectionner un entrepreneur général. De ce fait, l'entrepreneur général a seulement la charge du volet construction, et intervient lorsque le design du projet est déjà établi. Ce système constitue l'approche traditionnelle des projets de construction;
- Gérance de construction, traduit en anglais par Construction Management (CM). Il faut distinguer deux types de gérance de construction. L'un est une gérance de construction pour services. C'est un système dans lequel le Construction Manager (CM) est engagé par le client tel un consultant. Le second est une gérance de construction pour services et construction, dite CMAR pour *Construction Management at Risk*. Dans ce second système, le CM occupe alors à la fois le rôle de consultant et d'entrepreneur général, puisqu'il orchestre la construction. Ce mode de réalisation est également répertorié sous le nom GM ou encore CM;
- Conception-Construction, traduit en anglais par Design-Build (DB), système dans lequel le client contracte un accord avec une seule entité qui sera en charge à la fois du volet design et construction du projet. Cette entité est généralement un entrepreneur général, dès lors appelé concepteur constructeur, lequel peut déléguer des volets du projet à des soustraitants, mais l'accord contractuel est passé en premier lieu entre le client et l'entrepreneur général sélectionné.

Il existe d'autres modes de réalisation encore peu utilisés au Canada. C'est le cas du mode dit de « Réalisation intégrée de projet », traduit en anglais par Integrated Project Delivery (IPD) et ses différentes déclinaisons. C'est un système dans lequel les parties prenantes primaires — à savoir client, designer et constructeur- sont en collaboration, et partagent les risques, responsabilités et bénéfices. Cet accord multipartite est réalisé en amont de la phase de conception, tôt dans le projet.

Les modes de réalisation présentés ci-dessus présentent tous des avantages et inconvénients et font foi de modes de fonctionnements différents. (Raouf & Al-Ghamdi, 2019) ont dressé un tableau qui

résume ces éléments. D'autres publications ont cherché à expliciter les différences entre modes de réalisation, comme celle de Bourgault et Perrier (2021).

2.3 Stratégie de recherche de la revue de littérature

Comme présenté en section 2.2.1.2, la norme ISO 14040 donne une structure pour la méthodologie de calcul ACV. Toutefois, elle n'explicite pas quels sont les processus d'affaires et les partis prenantes mis en jeu. Afin de comprendre cela, nous allons faire l'état de l'art de la littérature scientifique concernant l'ACV en construction et le rôle qu'y tient l'entrepreneur général, les modes de réalisation et les liens établis entre ces notions, une revue de littérature a été conduite dans les bases de données Scopus et Compendex.

La recherche de documentation s'est articulée autour de plusieurs concepts clés, qui ont fait l'objet de recherches séparées. Les concepts sont les suivants :

- L'ACV, qui est la méthodologie dont on souhaite étudier l'opérationnalisation dans le domaine de la construction ; et
- Les modes de réalisation dans le secteur de la construction.

Une attention particulière est portée à la littérature qui traite des modes de réalisation dans le contexte de l'ACV. La recherche sur les modes de réalisation dans le contexte de l'ACV n'ayant pas donné les résultats escomptés, la recherche a été élargie à la notion de construction verte, aussi référencée sous le nom de construction durable. La construction verte, de l'anglais *Green building*, correspond à une construction qui tend à être responsable d'un point de vue environnemental dans les différentes étapes du cycle de vie de l'ouvrage à construire.

Une recherche séparée concernant le point de vue de l'entrepreneur général sur les rôles et responsabilités des parties prenantes dans le cadre cité précédemment a également été menée. Cependant, peu de documentation pertinente est ressortie de cette requête.

Afin de mieux cibler les articles pertinents, ayant plusieurs concepts de recherche, les mots-clés ont été recherchés dans les titres et résumés. Une série de requêtes a donc été réalisée dans les bases de données Scopus et Compendex contenant les mots clés suivants, tous leurs synonymes associés et notions connexes, parmi lesquels :

Tableau 2.1 Mots clés utilisés pour les requêtes dans les bases de données

Notions clés recherchées dans les requêtes	Construction	Operationalization	LCA	Delivery modes	General contractor	Roles
Synonymes ou notions connexes recherchés	Build* industry Construct* industry	Operationalization process* Business process*	Life cycle analys* Green build*	Contract* types DBB, design- bid-build	Constructor	Responsibilities Stakeholders
dans les requêtes	Build* Construct*	BPMN Process model*	Sustainable construction Sustainable	CMAR, construction management DB, design-	Builder	
	Construct	1 rocess moder	build*	build		

La notion d'opérationnalisation est le concept clé qui a engendré des difficultés. Étant une notion vague qui peut référer à plusieurs concepts, les requêtes comportant ce terme ont généré de nombreuses publications qui ne référaient pas à l'opérationnalisation selon la signification qu'on lui confère dans ce projet de mémoire. Ainsi, de nombreuses publications non pertinentes dans le cadre de notre projet sont ressorties. En revanche, certaines publications traitent de l'opérationnalisation telle qu'on l'envisage dans ce projet de recherche, mais n'utilisent pas ce terme dans leur titre ou résumé. Ainsi, la revue de littérature de type systématique n'a pas généré de résultats pertinents et la lecture de chaque résumé et parfois d'une partie de certaines publications a été nécessaire afin de cibler les papiers les plus pertinents.

Seuls les articles, revues de conférence, normes et livres ont été conservés. Presque tous les papiers répertoriés étaient en anglais, à part une publication qui est en portugais et que nous avons prise en compte. Seul un en allemand n'a pas pu être pris en compte, car le modèle proposé n'était pas traduisible par la mauvaise qualité visuelle de celui-ci.

2.4 Résultats

2.4.1 Premiers résultats : classification de la littérature retenue

Les articles retenus pour la revue de littérature, à la suite de l'application de la stratégie expliquée précédemment, sont listés en Tableau 2.2, et en Tableau 2.. Ces tableaux classifient les articles retenus selon les sujets majeurs qu'ils traitent, ainsi que selon le type de contribution qu'ils apportent à la littérature scientifique.

Notre recherche démontre que les notions d'ACV et de modes de réalisation sont des sujets déjà largement traités dans la littérature lorsqu'on les considère de façon distincte. Cependant, les papiers qui traitent ces notions d'un point de vue de rôle, responsabilité et opérationnalisation sont peu nombreux. De plus, ceux qui traitent du rôle de l'entrepreneur général ne recoupent généralement pas les autres notions d'intérêt de ce sujet de recherche. Aucun des papiers n'a pour sujet principal l'ACV du point de vue de l'entrepreneur général. Les papiers qui recoupent plusieurs des notions clés sont également peu nombreux, de même que ceux qui proposent une cartographie des processus d'affaires impliqués. En effet, sur 8 papiers traitant du rôle de l'entrepreneur général, 6 l'abordent dans le contexte de la construction durable, mais aucun ne se concentre sur l'ACV. Concernant les papiers qui portent sur les modes de réalisation, très peu abordent cette notion dans le contexte de la présente recherche. Alors que 15 d'entre eux abordent la notion de modes de réalisation, seuls deux abordent réellement la question du rôle de l'entrepreneur général.

Tableau 2.2 Résultats de la sélection

Auteurs	Titre	ACV	Construction verte / durable	Rôle de l'entrepreneur général	Modes de réalisation	Principale contribution
Zainon et al. (2019)	Developing a Framework for Life Cycle Assessment of Construction Materials through Building Information Modelling (BIM)	x				Modèle
Bruce-Hyrkäs et al. (2018)	Overview of Whole Building Life-Cycle Assessment for Green Building Certification and Ecodesign through Industry Surveys and Interviews	x				Étude empirique
Chodnekar et al. (2021)	Review and Assessment of Factors Associated with Green Building Rating Systems		X			Étude empirique
Antón & Diaz (2014)	Integration of life cycle assessment in a BIM environment	x				Modèle
Malmqvist et al. (2011)	Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines	x				Étude empirique
Kotula & Kamari (2020)	Development of a BIM-based LCA Tool to Support Sustainable Building Design during the Early Design Stage	X				Modèle
Gunhan (2019)	Developing Leadership Skills for a Dynamic Construction Industry	X			x	Étude empirique
Shadram et al. (2016)	An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design	x			-	Modèle
Li et al. (2010)	An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes	x			x	Modèle
Raouf & Al-Ghamdi (2019)	Effectiveness of Project Delivery Systems in Executing Green Buildings		X		X	Étude empirique
Orsi, Pellicer & Guillen (2017)	Optimizing Green Building Project Delivery : Comparative Analysis Of Design Bid Build And Design Build Delivery Methods Using Case Studies		X		x	Étude empirique
Tafazzoli et al. (2019)	Investigating the Relative Importance Barriers to Sustainable Construction Related to Owners, Contractors, and Government		X	Х		Étude empirique
Darko & Chan (2016)	Critical analysis of green building research trend in construction journals		X		x	État de l'art
Engebø et al. (2020)	A collaborative project delivery method for design of a high-performance building				X	Étude empirique
MacKenzie (2019)	Results Follow Process: Leveraging the Integrated Design Process (IDP) to Fundamentally Change and Improve How We Design Infrastructure				x	Étude empirique
Fischer et al. (2014)	A Simple Framework For Integrated Project Delivery				X	Modèle
Hossain et al. (2020)	Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction		x			Modèle

Tableau 2.2 Résultats de la sélection (suite et fin)

Auteurs	Titre	ACV	Construction durable/verte	Rôle de l'entrepreneur général	Modes de réalisation	Principale contribution
Santana et al. (2016)	Using BPMN-based Business Processes in Requirements Engineering: the Case Study of Sustainable Design		х			Modèle
Ebertshäuser et al. (2019)	Sustainable building information modeling in the context of model-based integral planning	X	х			Modèle
Andreas Fritsch (2020)	Towards a Modeling Method for Business Process Oriented Organizational Life Cycle Assessment	x				Sujet de thèse
Tzortzopoulos & Cooper (2007)	Design Management from a Contractor's Perspective: The Need for Clarity			x		Étude empirique
Ahn et al. (2016)	Integrated Construction Process for Green Building		X			Modèle
Mollaoglu- Korkmaz et al. (2013)	Delivering Sustainable, High-Performance Buildings: Influence of Project Delivery Methods on Integration and Project Outcomes				x	Étude empirique
Song et al. (2009)	Early Contractor Involvement in Design and Its Impact on Construction Schedule Performance			X	X	Modèle
Touran et al. (2010)	Selection of Project Delivery Method in Transit : Drivers and Objectives				X	Étude empirique
Holloway & Parrish (2013)	The Contractor's Self-perceived Role in Sustainable Construction : Survey Results		x	X		Étude empirique
Ali & Badinelli (2016)	Novel Integration of Sustainable and Construction Decisions into the Design Bid Build Project Delivery Method Using BPMN		х			Modèle
Glavinich (2008)	Contractor's Guide to Green Building Construction: Management, Project Delivery, Documentation, and Risk Reduction.		X	X		Étude empirique
Gunhan (2019)	Analyzing Sustainable Building Construction Project Delivery Practices: Builders' Perspective. Practice Periodical on Structural Design and Construction		X	X	X	Étude empirique
Holloway & Parrish (2018)	The contractor's self-perceived role in sustainable construction: Survey results.		X	X		Étude empirique
Kantola & Saari (2016)	Project delivery systems for nZEB projects.		X		X	Étude empirique
Riley, Pexton & Director (2003)	Procurement of sustainable construction services in the United States: The contractor's role in green buildings.		x	x		Étude empirique
Silva & Barros (2018)	Contribuição da modelagem BIM para facilitar o processo de ACV de edificações completas.	x				Modèle
Swarup et al. (2011)	Project Delivery Metrics for Sustainable, High-Performance Buildings.		x		X	Étude empirique

2.4.2 Défis de l'ACV et du développement durable dans le secteur de la construction

Selon Gunhan (2019b), la popularité pour les projets durables est grandissante et nécessite une plus grande collaboration que les projets traditionnels entre les parties prenantes. L'ACV est une opportunité notable pour aider les industriels de la construction dans leur démarche de développement durable. Le recours à la méthodologie ACV est également motivé par l'aspiration à obtenir certaines certifications environnementales, telles que les certifications LEED ou BREEAM (Bruce-Hyrkäs et al., 2018). Cependant, les projets de construction sont réputés pour être de nature complexe, d'autant plus que l'AEC (Architecture, Engineering, Construction) est une industrie fragmentée (Gunhan, 2019b), ce qui ne facilite pas l'opérationnalisation du calcul ACV dans les projets et la mise en place de pratiques durables de manière générale. En effet, les projets de construction sont souvent réalisés par lots, selon un processus en silos qui est linéaire, et n'aide pas à la collaboration des parties prenantes. Chaque acteur a une expertise très précise et les partenaires de projets ne sont pas les mêmes d'un projet à l'autre. Leoto (2019) définit dans sa thèse la fragmentation du secteur de la construction en quatre niveaux, en s'appuyant sur la littérature.

Par ailleurs, les projets de construction verte peuvent induire des réticences de la part des parties prenantes. Ces projets sortent des schémas habituels et sont souvent associés à un investissement supplémentaire et à un manque de ressources et de personnel qualifié (Chodnekar et al., 2021). Parmi les publications au sujet des constructions vertes et de l'ACV en construction, nombreuses sont celles qui qualifient et quantifient les obstacles et défis à relever dans ces projets. Du reste, selon Tafazzoli et al. (2019), l'entrepreneur général est celui qui pose le plus de barrières quant au développement de la construction verte, derrière le client et devant le gouvernement, notamment pour des raisons de coût. Les questions de coût et de planification semblent être au centre des préoccupations (Bruce-Hyrkäs et al., 2018). Les bâtiments verts nécessitent en effet un design plus réfléchi, car ils doivent être pensés différemment que pour des bâtiments traditionnels, que ce soit pour leur structure ou pour la sélection de matériaux et de technologies particuliers. La conception doit être pensée pour réduire l'impact environnemental, ce qui ajoute une couche de complexité, car les choix de conception ne sont plus conditionnés que par leur impact sur les coûts et la planification. En outre, les bâtiments verts présentent parfois des protocoles spécifiques ou des

restrictions particulières (Orsi et al., 2017). Par exemple, dans le cas étudié, un délai particulier a été consacré à la vérification des requis environnementaux pour la certification LEED. Ceci affecte la livraison de ces projets, à la fois d'un point de vue financier et de planification (Raouf & Al-Ghamdi, 2019). Face à un attrait grandissant pour la construction durable et des entités de financement qui soutiennent de plus en plus ce type de projet, certains entrepreneurs généraux s'intéressent alors à la mise en place d'ACV dans leurs activités.

Cependant, la mise en place de pratiques durables en construction se heurte à une autre barrière majeure, qui réside dans la gouvernance des projets. En effet, les avis divergent par exemple quant au management de projet de la phase de design (Tzortzopoulos & Cooper, 2007), phase importante dans l'opérationnalisation de l'ACV, bien que ce ne soit pas la seule. C'est lors de cette phase que peuvent être proposés plusieurs scénarios de design, afin d'optimiser les performances environnementales lors de l'ACV, notamment en faisant une sélection réfléchie des matériaux. Réitérer le processus de design plusieurs fois et mener des études comparatives implique un engagement conséquent en termes de temps et d'investissement financier pour le client. La thèse de Leoto (2019) s'attache à décrypter le processus de conception intégrée (CI) en construction verte. En effet, il cherche, par des études de cas, à montrer la portée, les contraintes et opportunités, ainsi que les conditions qui mènent à la réussite de la CI dans la pratique comme dans la théorie. Son étude révèle que la CI favorise bien l'innovation et peut de ce fait réduire l'empreinte écologique de l'industrie de la construction. Cependant, la réalité actuelle ne permet pas à la CI d'exploiter tout son potentiel. Sa thèse met en lumière des points d'amélioration, à la fois pratiques et théoriques, afin de favoriser la collaboration entre les parties prenantes pour réduire l'impact environnemental de l'industrie de la construction. Parmi ces points on retrouve l'attribution de nouveaux rôles à certains professionnels, une réduction de la fragmentation entre les parties prenantes, ou encore une nouvelle manière de gérer les contrats pour réguler les émissions carbones. Il aborde donc de nombreux points liés à la gouvernance des projets.

Tzortzopoulos et Cooper (2007) ont cherché dans leurs travaux à définir le rôle du "design manager" plus que l'implantation du processus en lui-même. Par ailleurs, ils explicitent un besoin de recherche dans la clarification du rôle de l'entrepreneur général. Selon leur étude, certains professionnels de l'architecture considèrent que l'entrepreneur général qui s'intéresse au design des projets va au-delà de ses responsabilités. D'autres estiment que si la réalisation du travail est sous-traitée, alors le management de la phase de conception devrait également l'être. Enfin, d'un

point de vue stratégique, certains pensent qu'il serait bénéfique pour toutes les parties prenantes que l'entrepreneur général ait la charge du management de projet en phase de conception. Ce conflit sur le management du design des projets verts en construction pose la question du rôle que peut adopter l'entrepreneur général, dans une industrie qui attend aujourd'hui d'eux qu'ils fournissent des calculs d'ACV lors des études de faisabilité (Gunhan, 2019b). Cependant, traditionnellement, la conception est attribuée aux architectes et l'entrepreneur général n'a que peu d'implication dans la conception de l'ouvrage. On retrouve ce constat dans la plupart des publications, et c'est ce qui peut expliquer le manque de publications du point de vue de l'entrepreneur général. En somme, les processus de gestion et l'organisation générale des projets pourraient être discutés afin de s'aligner avec l'évolution actuelle des exigences environnementales (Orsi et al., 2017).

Par ailleurs, en termes d'organisation et de logistique, la littérature met en avant la question de la phase de projet dans laquelle l'ACV devrait être mis en place afin d'obtenir les meilleurs résultats possibles. Bruce-Hyrkäs et al. (2018) indiquent que la flexibilité du projet diminue à mesure de son avancement, en partie car une grande partie des choix sont déjà faits avant le début de la phase de construction. Or, la précision du calcul ACV augmente avec l'avancement du projet, notamment car les données de quantité de matériaux sont accessibles avec davantage de précision. Paulson Jr (1976) présente une figure qui montre l'évolution de la flexibilité d'un projet de construction en fonction de son avancement. Au-delà de la flexibilité du projet, les coûts incombés aux éventuels changements seront plus élevés s'ils sont effectués tard dans le projet (Antón & Diaz, 2014). Antón et Diaz (2014) ont expliqué dans leur étude qu'actuellement, les calculs ACV menés en construction l'ont été après la phase de design, voire en phase post-construction. Ce phénomène peut s'expliquer par un manque d'information sur la construction en phase d'avant-projet, ainsi que la volonté de répondre à des certifications, qui n'exigent pas un calcul étendu sur tout le cycle de vie de l'infrastructure.

D'après la littérature mentionnée précédemment, l'entrepreneur général a un rôle déterminant à jouer dans la mise en place d'actions environnementales et plus particulièrement dans l'opérationnalisation de l'ACV en construction. Cependant, d'autres types de littérature, plus orientés sur l'architecture et la conception en tant que telle, attribuent ce rôle de « chef d'orchestre » plutôt aux concepteurs qu'aux entrepreneurs généraux. Globalement, la répartition des rôles et responsabilités de l'entrepreneur général et des autres parties prenantes est rarement explicite et fait débat. L'ACV nécessite une certaine flexibilité que n'offrent pas toujours les pratiques

traditionnelles de la construction. L'opérationnalisation de l'ACV propose de nouveaux défis à l'industrie de la construction. Dans ce contexte, il est pertinent de s'intéresser aux modes de gouvernance des projets de la filière.

2.4.3 Les modes de réalisation en construction

Il existe plusieurs modes de réalisation dans les projets de construction, qui ont été exposés en section 2.2.2. La présente section s'attachera plus précisément à étudier la littérature concernant les modes de réalisation vis-à-vis de la construction durable, et vis-à-vis de la place que l'entrepreneur général peut prendre en fonction des projets. Nous cherchons ici à relever les questions soulevées dans la littérature concernant ces éléments.

La littérature scientifique au sujet des modes de réalisation est riche. Plusieurs études s'attachent à les comparer de manière quantitative sur la base de certains critères précis. D'autres études décrivent les avantages et inconvénients de certains modes de réalisation, en adoptant alors un point de vue plus qualitatif (Raouf & Al-Ghamdi, 2019). Shadram et al. (2016) évoquent les modes de réalisation, en mentionnant que la portée de l'étude ACV dépend du mode de réalisation du projet de construction. En effet, les acteurs entrant en jeu dans la phase de conception, et la chronologie associée, ne sont pas les mêmes en conception-construction qu'en conception-soumissionconstruction. De plus, leur modèle indique quelques actions à réaliser afin de mener une ACV, comme la sélection des matériaux, le choix des sous-traitants, l'étude des données EPD, ou encore la récupération des données réelles d'émission des transports. Par ailleurs, il est indiqué que le modèle établi dans cet article serait a priori plus adapté à un mode de réalisation conceptionconstruction. Cette publication a l'avantage d'évoquer la distinction entre les modes de réalisation. Cependant, l'exploration des différences entre modes de réalisation n'est pas poussée et le contexte étudié n'est pas celui de l'ACV, mais des enjeux environnementaux de manière plus globale. Orsi et al. (2017) ont étudié les différences lors d'une étude de cas entre un projet géré en DBB et géré en DB. Cette recherche a mis en avant certains avantages du DB par rapport au DBB pour les projets de bâtiments verts, en termes de coût, de délai et également de résultat sur la certification LEED qui était visée. En effet, le DB permet de diminuer le nombre d'itérations sur les revues de projet en post design, en réponse aux commentaires des différentes parties prenantes (Touran et al., 2010). Ces dernières années, de nombreuses publications scientifiques se sont penchées sur l'IPD (Integrated Project Delivery), qui promeut une meilleure collaboration entre les parties prenantes que dans les autres modes de réalisation. Cependant, Fischer et al. (2014) expliquent dans leur étude dédiée à l'IPD que le mode de réalisation choisi pour un projet offre certes un squelette contractuel, mais ne façonne pas toute la réussite du projet. Le manque de collaboration est un problème fréquemment soulevé lors des études scientifiques sur le sujet. Plusieurs articles reportent également des relations conflictuelles entre les parties prenantes, d'autant plus dans les modes de réalisation dits traditionnels. Cependant, aucune des publications étudiées lors de la revue de littérature ne traite des modes de réalisation dans le contexte précis de l'opérationnalisation de l'ACV. Certaines études se déroulent dans le cadre de bâtiments durables, ou lors de projet à visée certification LEED, mais pas dans un cadre d'opérationnalisation ACV. Ce manque dans la littérature a grandement motivé le présent projet de recherche.

Malgré un contexte différent de celui de cette recherche, quelques publications abordent le rôle des parties prenantes et notamment celui de l'entrepreneur général. Le contexte industriel actuel d'hypercompétitivité pousse les clients à demander une plus grande participation de l'entrepreneur général, comparé au rôle que ce dernier avait auparavant dans les modes de réalisation traditionnels (Holloway & Parrish, 2013). D'après le sondage réalisé par ces derniers, les entrepreneurs généraux interrogés estiment jouer un rôle avec moins d'opportunités et d'influence décisionnelle que le client et les architectes. Les entrepreneurs généraux ont noté leur impact à 6,76³, contre une note s'élevant à 9,29 pour les architectes et à 9,62 pour le client. Cependant, ils ont indiqué que la perception de leur rôle était très variable selon le mode de réalisation choisi pour mener un projet. D'après Li et al. (2010), les projets en DBB permettent une division claire des responsabilités entre l'équipe design et l'entrepreneur général, ce dernier n'intervenant qu'une fois la conception du bâtiment terminé. Son rôle serait d'établir le plan de pré-construction, qui spécifie les méthodes de construction. Les matériaux de construction sont spécifiés par l'équipe design. Cependant, le plan des méthodes de construction implique parfois le choix d'un équipement ou de matériaux spécifiques. Or, ce choix a un retentissement sur l'impact environnemental du projet. Toutefois,

-

³ Ces notes correspondent à la moyenne des notes données par les personnes interrogées. L'échelle de référence s'étendait de 1 à 10. Le chiffre 1 correspondait à une opportunité minimale pour la profession concernée à avoir un impact sur l'aspect durabilité d'un projet ; et 10 à un maximum d'opportunités d'avoir un impact sur la durabilité d'un projet.

d'après Song et al. (2009), le mode traditionnel limite fortement l'opportunité d'implication de l'entrepreneur général. Si la chronologie d'intervention de ce dernier dans le projet semble claire pour Li et al. (2010), le rôle décisionnel à tenir d'un point de vue environnemental, lui, n'est pas explicite. En outre, Swarup et al. (2011) exposent que l'arrivée anticipée de l'entrepreneur dans le processus, et l'inclusion précoce de stratégies durables dans le projet ont un impact important et positif sur l'atteinte des objectifs environnementaux. La résistance au changement est une des barrières les plus fortes pour la mise en place de l'implication anticipée/précoce de l'entrepreneur général. Les modes de réalisation alternatifs ainsi que le concept du partenariat, eux, peuvent permettre de passer outre cette barrière.

De manière plus globale, l'intégration des équipes est un sujet qui revient souvent dans la littérature sur les modes de réalisation. Les modes de réalisation CMR et DB permettent a priori une meilleure intégration que le mode traditionnel (Mollaoglu-Korkmaz et al., 2013). Cette étude a mis en lumière qu'il y avait, dans les projets livrés à temps et dans le budget prévu, régulièrement une personne de l'équipe construction qui avait été intégrée de manière informelle lors de la phase de développement du design. Mollaoglu-Korkmaz et al. (2013) indiquent que la recherche devrait être poussée sur le sujet de l'intégration des équipes dans les projets de bâtiments durables.

En somme, une meilleure compréhension du processus d'implication de l'entrepreneur général dans les modes de réalisation et une exposition des bénéfices à long terme peuvent motiver la prise d'action en ce sens. C'est pourquoi le présent travail de recherche a pour but de clarifier le rôle de l'entrepreneur général dans l'opérationnalisation de l'ACV au sein des modes de réalisation.

2.4.4 Les modélisations d'ACV et de pratiques durables

La méthodologie ACV pour les projets de construction a déjà été largement étudiée dans la littérature. Les caractéristiques de la méthodologie ACV, ainsi que les risques⁴ et bénéfices qui y sont associés ont fait l'objet de plusieurs sujets de recherche. Récemment, les publications au sujet

⁴ On entend ici par risque à la fois l'imprécision des calculs, mais également la manière dont les résultats peuvent être utilisés. En effet, chaque bâtiment étant différent, en fonction des approximations réalisées pour mener le calcul ACV, la communication des résultats doit se faire avec précision. On entend également par risque les coûts supplémentaires engendrés, ainsi que les éventuels retards de planification.

de l'ACV sont davantage axées sur la structure des données impliquées, ainsi que sur la mise en place d'une structure de données Building Information Modeling (BIM) destinée à faciliter l'ACV.

Les modèles dans la littérature permettent de mieux comprendre les processus d'affaires ainsi que les manières de fonctionner. La plupart des articles qui proposent un modèle autour de l'ACV le font dans le contexte de son application en parallèle avec le BIM. Cette sous-section aborde les principales publications pertinentes qui proposent un modèle en lien avec l'ACV ou les pratiques durables.

Le BIM fait référence à un processus de création et de gestion des informations. Il contient entre autres une modélisation numérique de l'information connue au sujet d'un bâtiment ou d'une infrastructure, et peut notamment inclure une représentation virtuelle de celui-ci. Les principes et concepts qui s'y rattachent sont définis par la norme ISO 19650 (International Organization for Standardization, 2018). L'information nécessaire pour élaborer l'inventaire et mener les calculs ACV peut être extraite automatiquement ou semi automatiquement des données regroupées par le BIM. De ce fait, le recours au BIM permet d'éviter une extraction manuelle chronophage des données pour l'ACV. L'ACV combinée au BIM offre a priori les outils nécessaires aux industriels de la construction pour mieux gérer les performances environnementales de leurs projets.

Zainon et al. (2019) ont proposé un modèle pour aider au calcul intégré de l'ACV, permis par le BIM. Cette proposition, validée par des experts, décrit une structure de données. Ce modèle s'adresse, selon les auteurs, aux métreurs et peut notamment les aider lors de la sélection des matériaux. Cependant, ce n'est pas à eux qu'incombe ce choix. En effet, les concepteurs sont mentionnés comme étant les responsables de la partie conception dans la plupart des articles. Bien que Zainon et al. (2019) incluent dans leur étude des activités à prendre en compte dans l'opérationnalisation de l'ACV, ils ne proposent pas d'analyse du point de vue de l'entrepreneur général, et évoquent simplement le rôle de ce dernier dans l'organisation du transport pour l'acheminement des matériaux vers le chantier. Enfin, le modèle ne permet pas de comprendre l'intégration des actions à mener dans les processus d'affaires actuels d'un point de vue organisationnel ou de gouvernance. Kotula et Kamari (2020) ont également étudié l'intégration ACV par le BIM et montré le potentiel de cette approche avec le développement et l'implantation d'un outil. Ils proposent un organigramme afin de comprendre l'outil. Ce dernier permet aux firmes d'architecture et aux ingénieurs d'identifier les éléments sensibles du projet tout en limitant le

budget nécessaire. Dans cette publication, les auteurs se posent la question des phases de projet à considérer pour l'étude ACV. La littérature ne s'accorde pas à déterminer une ou plusieurs phases de projet strictes à étudier, chaque projet étant différent. Antón et Diaz (2014) étudient également l'intégration de l'ACV et du BIM dans différentes phases du projet de construction, afin de trouver la configuration optimale. Selon eux, il faut voir la construction durable comme une forme de design intégré, dans laquelle l'intégration est optimale si elle est réalisée tôt dans le projet et continuée tout au long de celui-ci. Cette configuration permet une diminution des coûts supplémentaires, ainsi qu'une meilleure flexibilité sur la conception du projet. Comme exposé auparavant dans le présent mémoire, les nouvelles manières de considérer la construction durable ont récemment fait l'objet d'une thèse (Leoto, 2019). Antón et Diaz (2014) proposent notamment une chronologie de l'intégration ACV, qui explique le problème visuellement. Kotula et Kamari (2020) relatent également les défis à relever dans l'intégration méthodologique des outils, comme l'absence de standards internationaux, les différences dans la définition des projets et les unités fonctionnelles, la difficulté à comparer deux infrastructures d'un point de vue de l'ACV. Toutefois, ils ne proposent pas d'approche organisationnelle ou d'opérationnalisation de l'ACV. Malgré de nombreuses publications, aucune ne permet d'accompagner complètement les industriels dans l'opérationnalisation conjointe du BIM et de l'ACV. Enfin, Silva et Barros (2018) ont cherché à comparer l'extraction des données BIM manuelle et automatisée pour le calcul ACV. Cette approche permet notamment de mener un calcul ACV en phase de projet préliminaire. Ils proposent également un modèle d'implantation BIM pour l'ACV. Ils abordent le sujet de l'opérationnalisation ACV en conclusion, mais ne poussent pas cette réflexion, n'étant pas au cœur du sujet.

Au-delà de l'ACV en tant que tel, certaines publications offrent des modèles qui cherchent à cartographier les actions à mener pour rendre la construction plus durable. Même si le contexte n'est pas exactement le même que celui de ce mémoire, cette partie de la littérature est intéressante à prendre en compte dans le sens où les objectifs visés se rejoignent. Shadram et al. (2016) ont développé et testé un modèle afin d'optimiser les performances environnementales d'une infrastructure lors de la phase de conception. Ils présentent des lignes directrices concernant la structure des données, comme l'extraction des données venant du BIM et suggèrent le recours à certains logiciels, comme pour le suivi et l'enregistrement des données concernant les distances. Cependant, cette étude ne prend en compte que la phase de conception. De plus, elle ne traite pas

de la structure organisationnelle en jeu, les actions à mener étant formulées sans mention de l'acteur qui en a la charge, comme souvent dans la littérature.

Ebertshäuser et al. (2019) ont proposé un modèle concret d'intégration des éléments de la construction durable par le BIM. Ils y abordent, par un modèle BPMN, les étapes à réaliser pour optimiser la conception et le choix des matériaux en phase de pré-construction seulement. Par la représentation BPMN, ils sont capables de proposer un modèle qui distingue la responsabilité des différents acteurs en jeu, ce qui amène beaucoup de valeur ajoutée au modèle. Cependant, l'entrepreneur général n'y apparait pas, l'ACV n'est pas au cœur du sujet et le modèle est peu détaillé. Dans la même lignée, Santana et al. (2016) ont établi des processus en BPMN afin d'accompagner les pratiques durables en construction. Ils étudient le BPMN en tant que tel et la construction verte est l'objet de l'étude de cas. Cependant, leur modèle apporte également des éléments de réflexion sur les actions à mener pour l'opérationnalisation de l'ACV.

Hossain et al. (2020) ont étudié le concept d'économie circulaire et proposé un modèle prospectif d'intégration des pratiques qui y sont liées dans l'industrie de la construction durable. Ils y font le parallèle avec l'ACV et l'approche se place d'un point de vue organisationnel, ce qui n'est généralement pas présent dans les autres études de type cartographie évoquées auparavant. Ils abordent notamment la question de la conception orientée pour le démantèlement et la déconstruction (DfDD). De bonnes pratiques pour optimiser les résultats ACV peuvent en être tirées. Une fois de plus, le rôle de l'entrepreneur général n'y est pas abordé. Dans la même lignée, Ali et Badinelli (2016) ont proposé un modèle BPMN pour cartographier les processus d'affaires de conception dans un contexte d'économie circulaire, en adaptant le mode conception-soumission-construction vers un mode de réalisation plus intégré. Un réel effort de cartographie y est mené.

Enfin, Ahn et al. (2016) ont développé un ICP (Processus de Construction Intégré) en quatre couches pour aider à la mise en place d'actions durables en construction dans les projets en conception-soumission-construction. La seconde couche détaille le contenu des activités de la construction verte listées dans la précédente couche, en indiquant les besoins, buts, procédures étape par étape, bonnes pratiques, documentation requise et autres informations. La troisième couche se concentre sur les rôles et responsabilités des principaux sous-traitants, dont l'entrepreneur général. Enfin, la quatrième donne des moyens de mener à bien les activités de

construction verte, ainsi que des modèles de documents fournis par les organismes de certification environnementale. Ahn et al. (2016) contribuent à la création d'un cadre et modèle pour intégrer les méthodologies associées dans chaque phase du cycle de vie du bâtiment. Le modèle bénéficiera selon eux à la réussite de la mise en place des méthodes de construction verte pour les parties prenantes en jeu. Le présent projet de recherche s'inscrit également dans cette démarche, mais avec un regard porté sur l'entrepreneur général du point de vue de l'opérationnalisation ACV.

La thèse de Fritsch (2020), qui est en cours, s'attachera à proposer une méthode de modélisation BPM pour la gestion durable des processus d'affaires, avisé par l'analyse du cycle de vie organisationnel (O-LCA). Ainsi, il s'intéressera aux aspects organisationnels dans l'Analyse du Cycle de Vie. Cependant, cette étude n'est pas spécifique à l'industrie de la construction.

En somme, les modèles d'intégration de déploiement BIM en parallèle de l'ACV et des pratiques de construction durable sont riches en information pour la création d'un modèle d'opérationnalisation ACV. Cependant, il est à noter que le rôle de l'entrepreneur général y est rarement étudié, de même que les modes de réalisation en jeu. Enfin, l'approche n'est que rarement d'un point de vue organisationnel et de gouvernance. L'ensemble de ces articles traite la question de l'ACV sans porter de regard sur l'acteur qui aura la charge de mettre en place les modèles exposés. Ainsi, les entrepreneurs généraux n'ont pas réellement de modèle ou méthodologie sur lesquels s'appuyer pour participer à la mise en œuvre ou mener l'opérationnalisation de l'ACV.

2.4.5 Modes de réalisation pour les bâtiments durables et place de l'entrepreneur général

Pour réaliser une modélisation d'opérationnalisation ACV en fonction du mode de réalisation, il est nécessaire de comprendre ces concepts, et notamment, le partage des rôles et responsabilités en leur sein. Malmqvist et al. (2011) présentent un tableau non exhaustif qui décrit les rôles et responsabilités des partis prenantes dans différentes actions du projet de construction qui influencent l'ACV. L'évocation des rôles de chaque acteur est certes succincte, mais toutefois existante, contrairement à la majeure partie de la littérature sur le sujet. D'après le tableau descriptif présenté dans cette publication, l'entrepreneur général n'intervient que lors de la phase de construction, en mettant en place un suivi et relevé des données énergétiques. Malmqvist et al. (2011) proposent également de bonnes pratiques pour guider l'utilisateur dans l'ACV en se basant

sur les recommandations du projet ENSLIC. Cependant, l'identité de l'acteur représenté par l'appellation « utilisateur » n'est pas spécifiée. De ce fait, il est difficile de comprendre la répartition des rôles et responsabilités au sein de ces bonnes pratiques. Malmqvist et al. (2011) expliquent qu'il est nécessaire de mieux intégrer les outils afin d'augmenter l'intérêt porté aux études ACV. Néanmoins, l'intégration des outils passe avant tout par la compréhension des processus d'affaires et l'intégration des équipes dans ces derniers, ce qui motive davantage le présent sujet de recherche.

Peu d'études prennent le parti d'étudier les choses sous le regard de l'entrepreneur général d'un point de vue organisationnel. Pourtant, dès les années 2000, certains auteurs se sont intéressés au rôle de l'entrepreneur général dans la construction verte. Glavinich (2008) a même dédié son ouvrage de plus de 200 pages sur ce sujet et passe en revue tous les sujets qui se rattachent à ce contexte : critères environnementaux des bâtiments, gestion des risques, gestion contractuelle, sous-traitance verte, approvisionnement, conception. À date, c'est l'ouvrage le plus complet publié sur le rôle de l'entrepreneur général trouvé lors de la présente revue de littérature. Riley et al. (2003), par opposition à ce que véhicule l'industrie de la construction à cette époque, croient que le rôle de l'entrepreneur ne s'arrête pas à la construction et à la négociation des tarifs avec les sous-traitants, mais que leur rayon d'action est bien plus important que cela pour développer la construction verte. Ils soutiennent déjà que les entrepreneurs devraient idéalement être intégrés dans la phase de conception. Il est à noter que le contexte des États-Unis de cette publication est différent de celui du Canada et que l'article traite des entrepreneurs dans la construction dans leur globalité.

Tzortzopoulos et Cooper (2007) ont étudié la place de l'entrepreneur général dans un processus de gestion qui devient de plus en plus intégré et pour lequel l'entrepreneur général est plus sollicité qu'auparavant. Leur étude de cas fait foi des difficultés rencontrées pour ces derniers. De plus, elle propose un modèle de processus de gestion de la conception. Il existe des conflits au sein des professionnels de la construction, car on demande parfois à l'entrepreneur général de gérer l'aspect conception de l'infrastructure, alors qu'il n'a pas nécessairement les compétences techniques pour le faire, dépendament des entrepreneurs généraux. Le consensus est difficile à trouver concernant l'acteur responsable de la conception. Est-ce que le management de la conception revient à l'entrepreneur général, même si celle-ci est sous-traitée à des designers ? Dans une autre mesure, selon (Tzortzopoulos & Cooper, 2007), il y a un manque de communication sur les besoins et

objectifs à atteindre de la part des concepteurs et de l'entrepreneur général. La publication donne quelques bonnes pratiques pour améliorer cela.

Song et al. (2009) avaient également montré l'importance d'intégrer l'entrepreneur général le plus tôt dans les projets lors de la conception, pour maximiser la performance de ceux-ci. Même si ces deux dernières publications se concentrent sur la phase de conception, et que ni l'ACV ni les modes de réalisation ne sont pris en considération, elles montrent que le besoin de clarification du rôle de l'entrepreneur général n'est pas nouveau et est bien réel. De plus, les articles ont été publiés dans un contexte qui est très différent de celui d'aujourd'hui. Le management de la conception pour l'ACV est en effet une étape délicate, qui dépend du mode de réalisation sélectionné et fera de ce fait l'objet d'une partie de la présente recherche. Les modes de réalisation orchestrant la chronologie d'engagement et les relations contractuelles entre les intervenants, l'étude de ces systèmes peut donc permettre de passer outre certaines barrières évoquées dans la littérature.

La littérature qui porte sur les modes de réalisation est très riche. Ces dernières années, les publications autour des modes de réalisation se concentrent essentiellement sur des modes dits intégrés, comme l'IPD (Integrated Project Delivery). Bien que les études s'intéressent aux modes de réalisation dans un contexte très actuel de construction et développement durable, le lien direct entre ACV et mode de réalisation n'est presque pas présent dans la littérature. En effet, la littérature s'attache à étudier les avantages et inconvénients de certains modes de réalisation en construction durable, souvent par le biais d'analyses qualitatives et d'études de cas, ou plus rarement, d'analyses quantitatives. L'étude des modes de réalisation implique d'aborder les rôles de chaque partie prenante, car la structure organisationnelle dans chacun des modes est différente. Swarup et al. (2011) ont déterminé, dans leur étude des métriques permettant d'évaluer les modes de réalisation, que l'arrivée anticipée de l'entrepreneur général est un des facteurs critiques qui conditionne la réussite des objectifs de performance durable. Mollaoglu-Korkmaz et al. (2013), en reprenant ce qui avait été fait dans l'étude précédente, ont également déterminé que l'intégration précoce de l'entrepreneur général est un facteur qui offre de belles perspectives pour augmenter les performances d'un projet.

Basé sur ce constat, Kantola et Saari (2016) se questionnent succinctement sur le rôle de l'entrepreneur général dans les modes de réalisation au regard des projets nZEB (nearly zero-energy building). Ils encouragent ainsi la sélection de modes de réalisation qui permettent une

intégration anticipée de l'entrepreneur général dans le projet. Afin d'atteindre des performances optimales en conception-construction, les entreprises devraient s'associer en amont de la réponse d'appel d'offres, ce qui n'est pas toujours la procédure courante. La chronologie d'intervention des acteurs peut donc poser un problème en fonction du mode de réalisation choisi. L'article évoque le modèle qui étudie la chronologie de participation du donneur d'ouvrage dans le projet en fonction du mode de réalisation sélectionné, mais ne s'intéresse pas à cette question du point de vue de l'entrepreneur général, ce qui manque régulièrement dans la littérature étudiée. Il décrit néanmoins qu'en CMAR, l'entrepreneur général intervient plus tôt qu'en conception-soumission-construction. Cependant, il manque généralement d'expertise dans le domaine de l'environnement et doit faire appel à une tierce entité pour traiter ces questions, car la conception de bâtiments verts ou infrastructures vertes nécessite beaucoup plus de précision que celle d'un ouvrage traditionnel.

Concernant la répartition des risques et responsabilités, un tableau met en avant quelques différences entre les modes de réalisation traditionnels, à livraison rapide, intégrés et orientés cycle de vie (Kantola & Saari, 2016). Cette étude développe cependant davantage le point de vue du donneur d'ouvrage que celui de l'entrepreneur général. De plus, cette description dans le partage des rôles et responsabilités n'est pas spécifique à l'ACV et ne permet pas d'appréhender finement les différences entre les modes de réalisation. Toutefois, il a le mérite d'aborder la répartition des risques entre les partis prenants en fonction des modes de réalisation et constitue une base pour la compréhension de ces enjeux.

Engebø et al. (2020) ont l'originalité d'étudier les aspects culturels et organisationnels des modes de réalisation intégrés pour les projets d'infrastructure à haute performance. Ils adoptent un point de vue davantage organisationnel que dans la littérature en général. Leur contribution à la littérature est d'expliquer que l'aspect contractuel ne suffit pas pour atteindre des objectifs de haute performance, mais qu'il s'agit également de mettre en place certaines bonnes pratiques. Dans des modes plus intégrés, il est nécessaire d'expliquer aux acteurs leur rôle et la nécessité d'établir une réelle collaboration. Pour ce faire, il est bon de leur expliquer le processus de fonctionnement du mode de réalisation utilisé. En ce sens, il y a un réel besoin d'expliciter les processus d'affaires du point de vue de l'entrepreneur général dans de nouvelles pratiques de construction verte. Même si le donneur d'ouvrage décide des éléments contractuels de départ, l'entrepreneur général a lui le pouvoir sur les éléments relatifs à l'organisation et la culture des équipes. Dans ce sens,

l'entrepreneur général a donc une certaine influence sur les processus d'affaires dans les modes de réalisation.

De nombreuses bonnes pratiques pour augmenter la collaboration sont exprimées dans la publication d'Engebø et al. (2020). Mollaoglu-Korkmaz et al. (2013) évoquent également les bonnes pratiquent qui permettent une meilleure intégration des parties prenantes dans les projets, sans prendre le parti de l'entrepreneur général. Gunhan (2019a) a mené un sondage auprès de grandes firmes d'entrepreneurs généraux aux États-Unis et a analysé le rôle de l'entrepreneur général dans la construction verte. Il aborde la question sous l'angle des différentes phases de projet, surtout en pré-construction et selon plusieurs modes de réalisation. Il passe en revue les préférences de modes de réalisation des entrepreneurs généraux, les bonnes pratiques à adopter, ainsi que leur capacité à fournir des ACV. Les questions du sondage étaient orientées vers l'aspect pratique et organisationnel de la construction verte, ce qui n'est pas courant dans la littérature. Alors que d'après Gunhan (2019a) la plupart des entrepreneurs généraux interrogés s'estimaient capables de fournir un ACV eux-mêmes ou par le biais des concepteurs avec lesquels ils travaillent, il semble que la réalité soit toute autre au sein du marché canadien. De plus, l'étendue des ACV menées par ces entrepreneurs n'est pas explicitée. Dans les exigences LEEDv4 qui sont évoquées, le recours à l'ACV est optionnel et non systématique et peut être menée seulement sur certains produits.

(Raouf & Al-Ghamdi, 2019) ont proposé une revue de littérature sur les modes de réalisation dans les bâtiments verts. Cette revue confirme que l'étude des modes de réalisation dans la construction verte est essentiellement basée sur la comparaison des métriques de performance en termes de planification et de coûts. De plus, la sélection du mode de réalisation le plus adéquat est également au cœur des préoccupations. Cependant, ces sujets sont relatifs au contexte général des bâtiments verts, et non propres à l'ACV. L'ACV appliqué en bâtiment n'étant pas assis dans les pratiques, le manque de publications sur le sujet est cohérent. Bien que les modes de réalisation soient comparés selon des critères précis dans de nombreuses publications, leur retentissement concret sur le partage des rôles et responsabilités n'est que très peu abordé. La publication de Raouf et Al-Ghamdi (2019) complète bien la présente recherche, puisqu'elle explicite les travaux déjà réalisés sur les modes de réalisation dans un contexte de bâtiment durable. De plus, ils ont publié un tableau qui présente les avantages et inconvénients de plusieurs modes de réalisation, ce qui a permis de mettre au clair leurs fonctionnements.

Dans l'ensemble de ces publications, qu'elles soient au sujet de l'ACV ou des modes de réalisation, le partage des rôles et des responsabilités n'est pas la question centrale. La plupart des articles ne considèrent pas ces questions du point de vue de la gouvernance, avec une perspective organisationnelle. De plus, lorsque l'étude évoque les considérations organisationnelles, le point de vue du donneur d'ouvrage est celui qui est généralement adopté. Très peu d'articles prennent le parti d'axer leur contenu sur le point de vue de l'entrepreneur général, encore moins dans le contexte de l'ACV. Dans un contexte canadien où certains entrepreneurs généraux prennent de plus en plus de place et se positionnent en chef de file de l'innovation en bâtiment, ces derniers ont besoin de mieux comprendre les processus d'affaires dans lesquels ils seront impliqués.

2.5 Revue critique

Les sections précédentes ont permis de mettre en avant qu'aucune des publications étudiées de la littérature que nous connaissons ne traite de l'opérationnalisation ACV, du point de vue de l'entrepreneur général, en fonction des modes de réalisation. Toutefois, notre recherche a permis d'identifier des publications proposant un modèle en lien avec certains de ces sujets.

Nous proposons d'analyser les publications pertinentes à partir du modèle d'évaluation des méthodes proposé par Zellner (2011). Son modèle d'évaluation est désigné par l'appellation *Mandatory Elements of a Method* (MEM) et permet d'évaluer si une méthode possède les éléments nécessaires à réellement améliorer les processus d'affaires. Concrètement, cette définition permet de caractériser les éléments cruciaux d'une méthodologie en regard de sa capacité à être opérationnalisée au sein d'une organisation. Ces éléments définis dans la méthode MEM de Zellner (2011) sont :

- Un modèle de procédure, défini par un ensemble ordonné d'activités à réaliser pour atteindre un objectif donné ;
- Un ensemble de techniques nécessaires à la réalisation des activités, qui est la manière d'obtenir les résultats. Une technique correspond à ce que l'on appelle une méthode et peut être supportée par des outils ;
- Des résultats clairement définis, soit les artéfacts résultants d'une activité (par exemple les documents);

- Des rôles, qui permettent de comprendre qui est responsable de quelle activité et quelles sont les compétences nécessaires à la réalisation d'une activité donnée; et
- Un modèle d'information, qui relie les éléments décrits ci-dessus et représente leurs liens ;

Par le MEM, nous allons analyser les modèles recensés dans la revue de littérature.

Les modèles recensés précédemment ne présentant pas toujours des explications détaillées. Afin d'évaluer la présence des critères de la méthode tels que décrits précédemment, nous avons établi trois niveaux de complétion dans le Tableau 2.3. Le premier, où la case n'est pas remplie, correspond à un critère qui n'est pas traité, ni textuellement, ni graphiquement. Le second, où la case est remplie par un trait « - » indique que le critère est abordé, mais de manière sommaire ; ou qu'il est abordé, mais qu'il manque une grande partie des informations. Ce niveau de complétion indique donc que l'information est partiellement traitée, mais pas de manière explicite et/ ou complète. Le dernier niveau de complétion est marqué par une croix « x » dans la case correspondante. Ceci signifie que le critère est entièrement présent et matérialisé dans la publication étudiée.

Tableau 2.3 Analyse des modèles de la revue de littérature selon les critères du MEM

Auteurs	Éléments obligatoires d'une méthode selon le MEM						
	Modèle de procédure	Technique	Résultats	Rôles	Modèle d'information		
Zainon et al. (2019)	X	-	-				
Antón & Diaz (2014)							
Kotula & Kamari (2020)	X	-	-				
Shadram et al. (2016)	X	X	-	-			
Li et al. (2010)		-					
Fischer et al. (2014)							
Hossain et al. (2020)	X	-	-	-			

Tableau 2.3 Analyse des modèles de la revue de littérature selon les critères du MEM (suite et fin)

Santana et al. (2016)	х	-	-		
Ebertshäuser et al. (2019)	x	x	х	-	
Ahn et al. (2016)	X	-	Х	X	-
Song et al. (2009)	Х	-	-	X	
Ali & Badinelli (2016)	Х	-	Х	-	х
Silva & Barros (2018	Х	Х	Х		

Toutes les méthodes recensées sauf trois présentent un modèle de procédure, élément de base de la méthode au sens du MEM. Deux des méthodes qui ne présentent pas de modèle de procédure ne présentent aucun des éléments requis pour le MEM. La première est en réalité une chronologie simple d'intégration de l'ACV par phases de projet (Antón & Diaz, 2014). La seconde propose un élément visuel concernant l'articulation des modes de réalisation intégrés, ce qui ne correspond également pas réellement à une méthode (Fischer et al., 2014). Enfin, Li et al. (2010) proposant un modèle de calcul ACV, seules les techniques y sont décrites. Les autres modèles proposent tous une séquence d'activités, qu'elle soit entièrement incluse dans le modèle ou présente textuellement.

Tous les modèles présentant un modèle de procédure présentent une au moins une technique selon la définition de Zellner (2011). La plupart des modèles ne présentent pas de technique pour chaque activité. Cependant, les activités ne sont pas définies de manière rigoureuse et exhaustive dans la plupart des publications, ce qui a un impact sur l'absence de détail concernant les techniques.

De même, tous les modèles qui présentaient un modèle de procédure incluent partiellement des résultats. Toutefois, les résultats ne sont pas présents pour chaque activité. Cela démontre une fois de plus un manque de structure dans les modèles recensés.

Concernant les rôles, seuls deux modèles décrivent réellement les rôles attribués aux activités ((Ali & Badinelli, 2016), (Ahn et al., 2016)). En outre, Song et al. (2009) font une description des rôles

dans le corps du texte, mais ne l'incluent pas réellement dans leur modèle. Les trois autres modèles abordent les rôles des parties prenantes dans les activités en question, mais cette description n'est pas complète.

Le modèle d'information étant l'élément qui relie tous les éléments précédemment cités, les modèles dans lesquels il manque un élément ne présentent donc pas de modèle d'information complet. C'est ainsi que seuls deux modèles proposent un réel modèle d'information. Ainsi, Ali et Badinelli (2016) proposent un modèle de réutilisation des matériaux qui répond à cinq des éléments essentiels pour définir une méthode au sens du MEM. De plus, l'outil 4 couches qui décrit les activités de la construction verte répond également à ces cinq éléments (Ahn et al., 2016).

Seule une méthode structurée qui présente les cinq éléments décrits ci-dessus permettrait une réelle amélioration des processus d'affaires modélisés (Zellner, 2011). Parmi les modèles issus de la revue de littérature, seuls deux répondent partiellement à ces critères. Les autres ne sont pas en mesure de proposer un modèle qui répond, même partiellement, à tous les critères du MEM. Aucun d'entre eux ne relate complètement les cinq critères essentiels. Cela montre un réel manque de structure au sein des modélisations de processus d'affaires dans la construction verte. De nombreuses publications, plus qualitatives, expriment ce manque lorsqu'elles évoquent les défis de la construction verte. De ce fait, les entreprises ne peuvent pas s'appuyer sur des modèles complets pour améliorer leurs pratiques. Il existe en réalité très peu de modèles adéquats pour aider les entreprises à comprendre concrètement les enjeux auxquels ils doivent répondre, les activités à mettre en place et la répartition des rôles qui y est liée. Dans le contexte de l'opérationnalisation ACV, à date, il n'y a aucun modèle à notre connaissance qui fait foi d'une méthode structurée, capable de répondre au MEM.

2.6 Conclusion

De nombreuses publications s'accordent à dire que le rôle de l'entrepreneur général se transforme avec l'arrivée de pratiques durables en construction. Cependant, la revue de la littérature a permis de montrer que le point de vue de l'entrepreneur général est rarement l'angle adopté dans les publications pour étudier les préoccupations environnementales dans la construction. De plus, la répartition des rôles et responsabilités de chaque acteur dans les modes de réalisation n'est pas toujours claire, encore moins dans le contexte actuel où l'industrie de la construction est en pleine

transformation. Dans cette transformation de la construction vers une industrie plus verte, l'ACV présente une forte opportunité. Toutefois, l'opérationnalisation ACV au Canada n'est pas acquise. Pour ce faire, une clarification des processus d'affaires qui y sont liés serait nécessaire. Selon Zellner (2011), une méthode très structurée présentant cinq éléments est nécessaire pour aider les industriels à améliorer leurs processus d'affaires. De ce fait, nous nous sommes appuyés sur sa définition d'une méthode afin de jauger s'il existe, dans la littérature, des modèles permettant de soutenir l'ACV. Parmi les modèles étudiés dans la revue de littérature, seuls deux font foi d'une méthode structurée selon ces cinq éléments. Cependant, ces modèles n'abordent pas précisément le sujet de l'opérationnalisation ACV en fonction des modes de réalisation. Il n'existe, à ce jour et à notre connaissance, aucun modèle d'opérationnalisation d'ACV complet, du point de vue de l'entrepreneur général au regard des modes de réalisation. Pourtant, une cartographie de l'opérationnalisation d'ACV est nécessaire pour aider cette technologie à pénétrer le marché de la construction au Canada. La méthodologie de recherche utilisée pour répondre à cette problématique est décrite au prochain chapitre.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Introduction

Ce chapitre vise à rappeler les objectifs de recherche qui répondent à la problématique identifiée précédemment, ainsi que la démarche méthodologique qui a permis de mener à bien ce projet.

3.2 Objectifs de recherche

Au début du projet, l'entrepreneur général partenaire du projet a fait savoir son intérêt pour l'opérationnalisation de l'ACV dans ses projets de construction. Comme l'ACV n'a pas encore pénétré le marché canadien de la construction, son opérationnalisation présente un défi pour l'entreprise partenaire, d'autant plus qu'elle n'a pas d'expérience précédente dans ce domaine. Même si la volonté d'opérationnalisation d'ACV vient initialement du partenaire industriel, il est probable que le recours à l'ACV devienne courant d'ici quelques années, au vu des exigences environnementales dans le secteur industriel de la construction, de plus en plus porté sur ces questions. L'entreprise partenaire avait auparavant accompagné ses partenaires de construction dans la transition vers le recours au BIM, en l'introduisant progressivement dans ses pratiques. De nos jours, le recours au BIM est en passe de devenir un standard en construction. C'est cette même démarche, mais aujourd'hui pour l'ACV que le partenaire souhaite initier.

Ce projet contribuera donc à accompagner l'entreprise partenaire dans l'opérationnalisation de l'ACV dans ses projets et à accompagner des industriels de la construction dans cette démarche. Chaque projet étant différent, marqué par une structure organisationnelle régie en partie par le mode de réalisation en place, on cherchera à décrire les processus d'affaires en jeu dans cette démarche. Le projet de maîtrise étant limité dans le temps, le projet s'attachera à étudier les trois modes de réalisation les plus courants au Canada. Il s'agit de la conception-soumission-construction, de la gérance de construction, et enfin, de la conception-construction. La conception-construction étant une forme plus intégrée selon la littérature, l'étude de la conception-construction en parallèle de la conception-soumission-construction, mode moins intégré, permettra également de confirmer ou infirmer l'idée qu'un mode intégré présente un avantage pour la mise en œuvre de l'ACV. De par le contexte étudié, la terminologie utilisée dans ce mémoire sera celle utilisée au Canada, et plus précisément, au Québec (Bourgault & Perrier, 2021).

La revue de littérature a permis de mettre en évidence que le lien entre mode de réalisation et ACV est peu développé, surtout du point de vue de son opérationnalisation. Le point de vue de l'entrepreneur général est rarement celui qui est au cœur du sujet dans la littérature. Le besoin de cartographier les processus d'affaires pour éclairer l'entrepreneur général sur le rôle qu'il peut prendre pour l'opérationnalisation de l'ACV et la manière de le faire est donc bien réel. Ainsi, la présente recherche fut orientée vers un objectif principal qui se formule ainsi: Développer une méthodologie d'opérationnalisation d'ACV au regard des modes de réalisation, du point de vue de l'entrepreneur général.

Cet objectif principal se décompose en plusieurs sous-objectifs spécifiques :

- Sous-objectif 1 : Analyser le rayon d'action de l'entrepreneur général dans les modes de réalisation, en théorie et en pratique, pour l'ACV ;
- Sous-objectif 2 : Identifier et analyser les modèles pertinents liés à l'ACV existants et les confronter à la réalité de l'opérationnalisation ACV ;
- Sous-objectif 3 : Proposer une méthodologie d'opérationnalisation d'ACV du point de vue de l'entrepreneur général en fonction du mode de réalisation étudié ;
- Sous-objectif 4 : Évaluer la représentativité, la pertinence, l'applicabilité de la méthodologie par des experts.

3.3 Démarche de recherche proposée

La démarche de recherche sélectionnée afin de proposer une méthodologie d'opérationnalisation de l'ACV selon le mode de réalisation du point de vue de l'entrepreneur général est de type *Design Research Methodology* (DRM) (Blessing & Chakrabarti, 2009). Cette démarche est idéale dans le cadre de notre proposition, car elle a été créée afin d'élaborer des méthodologies ou processus d'affaires, ce que l'on souhaite faire dans ce projet de recherche. En outre, elle n'impose pas l'implantation complète de l'outil proposé, qui n'est pas possible étant donné une maturité trop peu avancée du projet d'ACV chez le partenaire industriel. L'évaluation du modèle par des experts du domaine concerné permettra toutefois d'apporter la rigueur nécessaire à la démarche de recherche. Ainsi, l'approche reste qualitative et offre à la fois théorie (étude descriptive) afin de proposer les meilleurs processus d'affaires et pratique (étude prescriptive) afin de répondre au besoin du partenaire industriel. De plus, la DRM offre la flexibilité nécessaire pour mener plusieurs itérations

lors de l'élaboration du modèle. Ce critère de flexibilité est essentiel dans le présent projet de recherche, qui a vocation à répondre au besoin de l'industriel en créant un modèle sur mesure. La méthodologie DRM est décrite plus précisément dans les travaux de (Blessing & Chakrabarti, 2009). Elle se décompose en quatre phases, que sont la clarification de la recherche, une première étude descriptive, une étude normative et une seconde étude descriptive. Pour répondre à chacun des quatre sous-objectifs de ce projet de recherche, la méthodologie de recherche DRM exposée en Figure 3.1 a été établie.

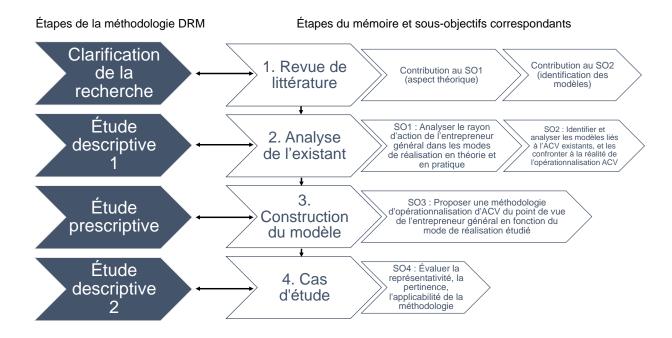


Figure 3.1 : Application de la démarche DRM au projet de recherche

3.3.1 Clarification de la recherche

La première phase de la DRM est la clarification de la recherche. La revue de littérature (chapitre précédent) permet de faire état des contributions déjà existantes dans la littérature scientifique relative au domaine de recherche étudié. Dans ce projet, la revue permet d'identifier et analyser le rayon d'action de l'entrepreneur général dans les modes de réalisation pour l'ACV dans la littérature. Elle a également permis d'identifier et analyser les modèles présents dans la littérature scientifique, qui constitueront une aide pour l'élaboration de la proposition. Les contributions et lacunes de ces éléments ont été présentées en Chapitre 2. Les limites de la littérature ont motivé le

présent projet de recherche et ont permis de préciser les objectifs de ce dernier. La revue de littérature contribue à la réponse du SO1 puisqu'elle permet une analyse du rayon d'action de l'entrepreneur général dans les modes de réalisation pour la partie théorie et du SO2 car elle permet d'identifier les modèles liés à l'ACV existants.

3.3.2 Étude descriptive 1

La seconde phase de la DRM est une première étude descriptive. Cette étude est une analyse de l'existant, qui permet d'identifier les besoins du partenaire industriel en lien avec le sujet de recherche. Dans ce projet, la première étude descriptive est constituée des éléments suivants :

- Une analyse du rayon d'action de l'entrepreneur général dans les modes de réalisation étudiés selon le partenaire industriel; et
- Une analyse de la manière d'aborder l'ACV dans le présent projet.

Ces éléments ont été recueillis par le biais d'un stage en immersion chez le partenaire industriel et de plusieurs entrevues complémentaires avec des professionnels de la construction en exercice chez le partenaire. Le stage MITACS s'est effectué selon deux parties. Une première partie de stage, opérationnelle, a débuté en juin 2021 et a pris fin en octobre 2021. La seconde partie, davantage orientée vers la recherche universitaire, s'est déroulée d'octobre 2021 à juillet 2022. Le stage opérationnel a permis de créer une première approche avec de nombreux professionnels dont les activités gravitent autour de l'ACV et de comprendre le travail déjà effectué sur le sujet. De plus, le profil des professionnels audités lors des entrevues complémentaires est détaillé en Tableau 5.1. Chaque professionnel a été rencontré une fois en amont du projet afin de réaliser la première étude descriptive. Ces rencontres, d'une durée de 30 minutes à 1 heure, étaient dirigées sur la base d'une liste de questions issues de la revue de littérature, des observations lors du stage, ainsi que des précédentes entrevues. Chaque rencontre était orientée selon le domaine d'expertise du professionnel audité. En outre, deux formations sur des logiciels de calcul ACV ont permis de compléter ces informations. La première formation, reçue en été 2021, concerne le logiciel OneClickLCA, logiciel sélectionné par l'entreprise partenaire pour réaliser, à terme, les calculs d'ACV dans ses projets. La seconde formation a été donnée sur openLCA, dans le cadre d'un cours universitaire sur l'ACV. L'étape d'analyse du cas d'étude industriel permet de préciser les requis de la proposition de ce mémoire, afin de s'aligner avec la réalité industrielle. En somme, l'analyse de l'existant nous a permis, avec les contributions de la revue de littérature, de répondre aux SO1 et SO2 en complément du chapitre précédent. Le Chapitre 4 du mémoire constitue cette première étude descriptive.

3.3.3 Étude prescriptive

La troisième phase de la DRM est une étude prescriptive. La proposition de méthodologie présentée en Chapitre 5 constitue l'étude prescriptive. Cette méthodologie est élaborée sur la base des contributions et lacunes de la littérature, ainsi que sur les observations et l'expression des requis chez le partenaire industriel. En outre, la méthode proposée vise à répondre aux cinq éléments qui constituent une méthode censée soutenir l'amélioration des processus d'affaires selon Zellner (2011). Un modèle d'opérationnalisation d'ACV pour les trois modes de réalisation étudiés sera présenté pour l'ACV en phase de conception, ainsi que pour l'ACV de l'ouvrage tel que construit. Ce modèle vise à comprendre comment s'intègre l'opérationnalisation de l'ACV dans les pratiques actuelles du partenaire industriel. Enfin, des diagrammes d'interrelation pour chaque modèle présenté permettront de vérifier les cartographies d'un point de vue méthodologique. Les modèles et diagrammes ont été réalisés sur le logiciel LucidChart.

3.3.4 Étude descriptive 2

La dernière phase de la DRM est la seconde étude descriptive. L'étude descriptive se traduit ici par une évaluation de la méthodologie proposée par des experts dans le domaine. L'évaluation se fait sur des critères d'acceptation créés pour le projet, qui traduisent la représentativité, la pertinence et l'applicabilité du modèle. Le détail concernant l'évaluation est exposé en Chapitre 6. Plusieurs professionnels concernés par la méthodologie proposée seront interrogés dans une entrevue semi-structurée, détaillées en Figure G. 1, avec une phase de revue du modèle puis une phase de discussion ouverte. Cette étape permet de valider ou non les éléments de la proposition de modèle auprès de personnes compétentes et de l'améliorer au besoin. Il est à noter que la méthodologie ne sera pas réellement testée par le partenaire, l'opérationnalisation de l'ACV n'étant pas à un stade de maturité assez avancé. Les critères évalués le sont dans un contexte d'application future et hypothétique de la méthodologie. Cette seconde étude descriptive est exposée en Chapitre 6.

3.4 Conclusion

La méthodologie adoptée est de type DRM, car c'est une méthodologie qui est appliquée, concrète et applicable, ce que requiert le projet de ce mémoire. La revue de littérature a permis de montrer l'intérêt pour la clarification du rôle de l'entrepreneur général dans l'opérationnalisation de l'ACV. La méthodologie développée dans ce projet permettra d'accompagner les entrepreneurs généraux qui le souhaitent dans leur transition vers l'opérationnalisation de l'ACV en clarifiant le rôle qu'ils peuvent prendre selon le mode de réalisation. Enfin, notons que cette méthodologie DRM fut utilisée avec succès dans plusieurs cas récents de projets de recherche réalisés chez le même partenaire, par Mosser (2020) et Panquet (2020).

Le prochain chapitre permettra de mieux appréhender le contexte industriel du projet, les besoins du partenaire industriel et d'établir les requis pour l'élaboration de la méthodologie.

CHAPITRE 4 PREMIÈRE ÉTUDE DESCRIPTIVE - ANALYSE DE L'EXISTANT

4.1 Introduction

L'objectif de cette section est d'expliciter les besoins de l'industriel partenaire de ce projet pour affiner la proposition de méthodologie. L'analyse de l'existant correspond à la deuxième étape de la démarche DRM, soit à une étude descriptive basée sur un contenu empirique. L'objectif de ce chapitre est donc de comprendre la réalité des modes de réalisation en projet de construction chez le partenaire, d'y identifier son rôle d'entrepreneur général et d'analyser son opportunité d'implication pour l'opérationnalisation de l'ACV.

4.2 Mise en contexte

Depuis plusieurs années déjà, l'entreprise partenaire s'engage de plus en plus dans des initiatives et projets visant à réduire son impact environnemental. En avril 2020, l'entreprise avait complété ou était dans la procédure pour compléter pas moins de 134 projets certifiés LEED à travers le Canada. Elle participe également à des projets à objectif de certification zéro carbone, Green Globes, et d'autres encore. Dans un marché de la construction demandant de plus en plus de durabilité, l'entreprise partenaire a vocation à prendre part dans cette transition. Afin de promouvoir des projets plus durables, et au vu de l'intérêt grandissant pour les quantifications d'émission carbone, le partenaire souhaite développer un socle de compétences et d'expertise solide sur ces considérations en interne. Dans cet engagement pour une construction plus verte, le partenaire souhaite aller de l'avant avec l'ACV. Il a vocation à proposer à terme un service de calcul d'ACV, si possible en interne, appuyé par la technologie BIM à ses clients. Le partenaire industriel travaille à ce jour à intégrer l'ACV dans un projet pilote. Toutefois, il rencontre des difficultés dans cette initiative. Ce projet innovant où tout est à construire ne peut s'appuyer sur des expériences passées. L'initiative d'un entrepreneur général à opérationnaliser l'ACV dans ses projets est un réel défi. En effet, c'est une approche entièrement nouvelle qui implique de repenser partiellement le processus de construction, en intégrant un nouveau volet de processus d'affaires. De plus, dans cette démarche, le partenaire souhaite acquérir un nouveau rôle dans ses projets. La place de l'entrepreneur général fait parfois débat, notamment dans la phase de conception, dans les

projets dits « intégrés ». Dans ce contexte, la présente étude s'intéresse au rôle que l'entrepreneur général peut tenir dans la démarche d'opérationnalisation d'ACV pour l'accompagner dans cette démarche. Dans un premier temps, le projet s'attachera à décrire dans cette section la place que tient l'entrepreneur général à l'heure actuelle dans ses projets, en fonction du mode de réalisation qui est en jeu.

4.3 Chronologie d'intervention de l'entrepreneur général en fonction du mode de réalisation en jeu

La chronologie d'intervention de l'entrepreneur général dans les projets de construction est très variable en fonction de chaque projet, et notamment, du fait du mode de réalisation en jeu. Dans l'ensemble, la littérature scientifique s'accorde à dire que l'entrepreneur général devrait arriver le plus tôt possible dans le projet, ce qui maximise la réussite du projet et l'atteinte des objectifs, notamment environnementaux. Afin de comprendre le rayon d'action de l'entrepreneur général dans l'opérationnalisation ACV, il est important de comprendre les rouages des modes de réalisation étudiés dans ce projet de recherche.

Dans le but de réaliser une modélisation des processus d'affaires, il est nécessaire de comprendre les manières de fonctionner dans les projets de construction. Même si le cas du partenaire industriel constitue un cas particulier et que les processus d'affaires varient en fonction de l'entreprise considérée et de chaque projet, le partenaire industriel sera pris pour exemple dans tout ce projet de recherche. Pour rappel, étant limité dans le temps, ce projet a dû s'intéresser à trois modes de réalisation en particulier. Comme présenté auparavant, ce projet s'attache à étudier la conception-soumission-construction, la gérance pour services et construction, ainsi que la conception-construction.

Le but du projet étant d'avoir un modèle concret d'opérationnalisation ACV, il a fallu étudier la chronologie d'intervention de l'entrepreneur général en fonction du mode de réalisation de projet. En effet, l'objectif est de comprendre comment peut s'inscrire l'opérationnalisation de l'ACV dans les processus d'affaires actuels de l'entreprise. Pour ce faire, des discussions ont été menées avec des professionnels exerçant chez le partenaire industriel pour confirmer ou infirmer les informations recueillies dans la littérature. Il est à noter qu'aux fins du projet, des généralités ont été tirées de la présente étude. Cependant, chaque projet est unique et ne répond pas avec exactitude

à toutes les informations présentées dans ce projet de recherche. Le présent mémoire s'attachera à inclure le plus de projets possible dans ses descriptions.

4.3.1 Conception-Soumission-Construction

En conception-soumission-construction, le donneur d'ouvrage travaille de son côté avec les firmes nécessaires pour réaliser la conception. Par la suite, sur la base des plans et devis établis et gelés, il lance un appel d'offres pour la maîtrise d'œuvre, qui correspond à la gestion de la construction. À cette étape, l'entrepreneur général constitue une réponse à l'appel d'offres, c'est ce que l'on appelle la proposition. S'il est sélectionné par le donneur d'ouvrage, il pourra alors entreprendre la construction de l'infrastructure. Conception et construction sont des phases bien distinctes dans ce mode de réalisation. Ainsi, l'entrepreneur général ne peut pas être en lien avec les responsables de la conception en amont de l'appel d'offres, ce qui pose parfois des conflits, par exemple ceux relatifs à la constructibilité de l'ouvrage. Ces conflits, évoqués dans la littérature, sont bien réels d'après le partenaire industriel. En conception soumission construction, l'entrepreneur général joue seulement le rôle de maître d'œuvre. Le rôle de l'entrepreneur général se termine à la livraison de l'ouvrage, sauf exception contractuelle. D'après les professionnels interrogés, l'entrepreneur général n'a aucune marge de manœuvre sur la conception de l'ouvrage, étant donné que tout est gelé lorsqu'il commence son intervention dans le projet. Il peut faire intervenir certaines modifications, uniquement si se pose un problème de constructibilité, ou pour des raisons économiques justifiées. Toutefois, l'entrepreneur général a entièrement la main en ce qui a trait à la maîtrise d'œuvre.

4.3.2 Gérance de construction

En gérance de construction, le donneur d'ouvrage travaille de son côté avec des consultants et diverses firmes, à définir les plans et devis de l'infrastructure à ériger. Dépendamment du projet, l'entrepreneur général intervient à une étape plus ou moins avancée de la conception de l'ouvrage. D'après les professionnels interrogés, la marge de manœuvre de l'entrepreneur général sur la conception du projet est très variable dans chaque projet. De manière traditionnelle, l'entrepreneur général intervient à une phase très avancée de conception. Très récemment, des projets en gérance où l'entrepreneur général est appelé à une phase peu avancée de conception commencent à voir le jour. En anglais, ce nouveau type de gérance est désigné par le terme « draw-build ».

L'entrepreneur général est souvent appelé à rôle de conseiller, ce qui lui permet d'avoir davantage de latitude que sur un projet en conception-soumission-construction. Le processus d'appel d'offres est différent de celui qu'on retrouvera en conception-construction ou conception-soumission-construction. En effet, les appels d'offres y sont souvent séquentiels, en étant divisés en plusieurs lots à construire. La construction peut commencer avant même que la conception ne soit à un stade avancé. L'étude de l'opérationnalisation ACV pour la gérance de construction s'attachera à étudier la gérance pour services et construction dans sa forme traditionnelle, étant donné que c'est le cas le plus courant dans les projets du partenaire industriel et que le présent mémoire a pour vocation à accompagner ce dernier dans ses projets.

4.3.3 Conception-Construction

En conception-construction, le donneur d'ouvrage définit le programme à venir, par le biais d'un devis de performance. Ce dernier contient les performances à atteindre, les critères et normes à respecter, ainsi que les diverses exigences. Les exigences peuvent être de toutes sortes, étant relatives à la forme de l'infrastructure à construire ou encore sur les matériaux à utiliser par exemple. D'après les professionnels rencontrés, en fonction des projets, le devis de performance est plus ou moins détaillé. Le donneur d'ouvrage lance alors un appel d'offres avec son devis de performance. Pour y répondre, l'entrepreneur général va former une co-entreprise. Cette co-entreprise, aussi appelée consortium, est une association de plusieurs entreprises ayant des qualifications complémentaires. On peut par exemple y trouver un entrepreneur général, une firme de concepteurs, ainsi que des consultants au besoin. Le consortium est formé par tous les professionnels qualifiés nécessaires pour répondre au mieux à l'appel d'offres.

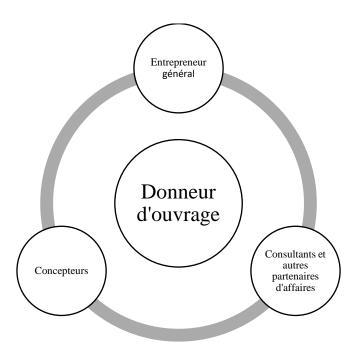


Figure 4.1 Schéma représentant le mode de fonctionnement du consortium en conception construction

D'après le partenaire industriel, l'entrepreneur général tient le rôle de meneur dans le projet, car il coordonne le consortium, ce qui confirme la description du mode conception-construction exposé dans la littérature. Les partis prenants du consortium travaillent de pair afin de présenter une qualification. L'étape de qualification est une étape à laquelle on présente la co-entreprise, les expériences passées de chaque acteur, leurs capacités et spécificités. En qualification, le donneur d'ouvrage va alors sélectionner plusieurs consortiums, qui répondent au mieux au devis de performance. Cette phase se limite, pour les consortiums, à montrer leurs expériences passées et leurs compétences. Mise à part intégrer leur expérience passée avec des projets comprenant des ACV, cette phase n'a pas réellement d'impact sur notre étude d'opérationnalisation ACV et ne sera donc pas traitée dans le présent mémoire.

Les co-entreprises sélectionnées vont entreprendre un travail d'équipe afin de réaliser la conception de l'infrastructure et de faire une proposition. À cette étape, les consortiums présélectionnés vont établir la conception, les maquettes 3D, l'estimation et la planification du projet. Le travail à réaliser à cette étape dépend des spécifications de chaque projet. C'est le gestionnaire de proposition qui coordonne tous éléments de la réponse de proposition. Une fois ce travail de conception terminé, la co-entreprise va envoyer la proposition rédigée au donneur d'ouvrage dans

le but de poursuivre en construction. Si le consortium est sélectionné pour réaliser la construction de l'ouvrage, alors il pourra poursuivre la conception et entamer la construction de l'infrastructure. Il est à considérer que la conception d'un ouvrage ne s'arrête pas à l'étape de proposition dans la réalité. Tous les éléments ne sont pas définitifs et sont voués pour certains à des modifications. De plus, la réalité du terrain implique de faire des choix à l'étape de construction, qui n'ont pas toujours été faits à l'étape de proposition. De manière globale, la conception est réalisée par lots, avec un ordre de priorité. Par exemple, on commence par la conception des fondations, de l'enveloppe extérieure et on finit par les finitions intérieures. Pour ce qui a trait à la construction en tant que telle, l'entrepreneur général est le gérant et le garant de la construction de l'infrastructure. En conception-construction, son rôle s'arrête à la livraison du projet, sauf exception contractuelle. En conception-construction, l'entrepreneur général, appelé concepteur-constructeur, traite directement avec le donneur d'ouvrage.

4.3.4 Chronologie d'intervention dans les modes de réalisation, selon le partenaire industriel

Les discussions avec le partenaire industriel ont permis de comprendre la réalité du déroulé du projet de construction dans son ensemble en fonction des modes de réalisation. Pour appuyer et illustrer ces discussions, une chronologie visuelle a été élaborée et est présentée en Figure 4.2. Cette chronologie permet de mieux comprendre le contexte dans lequel est développée la proposition de ce mémoire, contexte dans lequel se déroulent les activités à considérer. Pour rappel, il est à noter que chaque projet est unique et que cette chronologie vise à représenter le déroulé global des projets de construction.

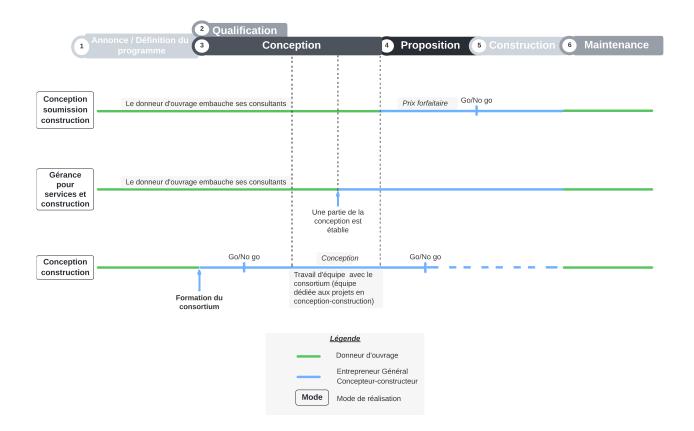


Figure 4.2 Chronologie d'intervention de l'entrepreneur général dans les projets de construction en fonction du mode de réalisation

La qualification n'est pas une phase qu'on retrouve dans tous les projets, c'est pourquoi elle a été positionnée au-dessus de la conception. En conception-soumission-construction, l'entrepreneur général intervient lorsque la conception est terminée. En gérance pour services et construction, l'arrivée de l'entrepreneur général dépend du projet considéré. Les avis des professionnels interrogés sur cette question sont très divergents. Alors que certains considèrent que l'entrepreneur général intervient à une phase où la conception est moyennement avancée (entre 10 et 40% de complétion en fonction des projets), d'autres estiment que l'entrepreneur général intervient une fois les plans presque scellés pour construction. Pour les fins du présent projet, au regard de ces discussions et de la littérature, nous considérerons que l'entrepreneur général intervient à un stade de conception assez avancé. En conception-construction, l'entrepreneur général intervient dès le début de projet. Il est à noter que, majoritairement en conception-construction, et en gérance pour services et construction, les phases de conception et de construction peuvent se chevaucher dépendamment des lots à traiter, comme illustré en Figure 4.3. Afin de garder des modèles les plus

intelligibles possibles, nous ne traiterons pas ce chevauchement et considérerons que les activités se déroulent en deux phases : pré-construction et construction. La chronologie d'intervention nous permettra de mieux situer notre proposition dans les projets de construction.

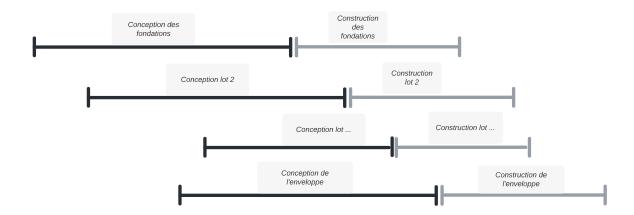


Figure 4.3 Schéma de chevauchement de la conception et de la construction des lots

4.4 Maturité du projet d'ACV chez le partenaire industriel

Dans sa démarche de réduire son empreinte carbone, le partenaire industriel a lancé en 2020 une initiative⁵ visant à utiliser l'ACV pour ses projets de construction. Cette initiative s'est déroulée jusqu'à présent en trois phases. La première phase consistait à s'informer sur la notion d'ACV, et à regrouper la littérature pertinente permettant de motiver le comité exécutif à aller de l'avant avec le projet d'ACV. La seconde phase consistait à étudier les différents logiciels ACV disponibles sur le marché, afin d'en sélectionner un à tester. La dernière phase, qui est toujours en cours et a commencé en été 2021, a consisté à mener une ACV sommaire prenant en compte uniquement les données opérationnelles sur site, manuellement, sur un projet de construction en cours. À la suite du succès de ce projet test, le partenaire industriel souhaite prochainement lancer un projet pilote, qui visera à utiliser le logiciel ACV sélectionné en phase 2 afin de quantifier davantage d'éléments dans le projet de construction. Si ce projet est une réussite, le partenaire industriel souhaiterait par la suite déployer l'initiative ACV de manière courante dans ses projets, en le proposant comme un

⁵ Le terme initiative est utilisé chez le partenaire industriel afin de désigner un projet d'innovation développé en interne.

service au client. Le projet d'opérationnalisation ACV du partenaire industriel est donc actuellement à ses débuts, soit en test dans un projet pilote à petite échelle.

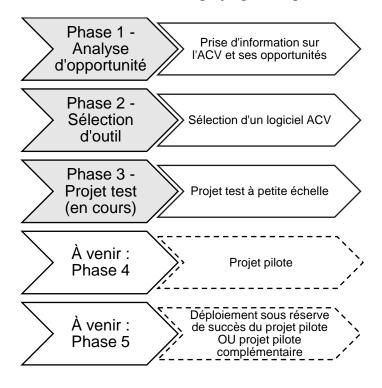


Figure 4.4 Phases de l'initiative ACV chez le partenaire industriel

Toutefois, il n'existe à ce jour aucune méthodologie d'opérationnalisation chez le partenaire qui prenne en compte l'ensemble des éléments à considérer, et qui permettrait le déploiement de l'initiative. Les différents projets tests et projets pilotes se construisent de manière empirique. En effet, étant une initiative exploratoire de la part du partenaire industriel, le projet test et le projet pilote sont loin de ressembler à l'opérationnalisation ACV que le partenaire souhaite mettre en place. Dans le projet pilote, l'étude ACV n'est pas complète et prendra en compte les données de l'ouvrage Tel Que Construit (TQC) qui sont facilement accessibles à date. À terme, le partenaire industriel souhaiterait avoir des équipes ayant une expertise dans le domaine de l'ACV, permettant de ne pas avoir besoin de faire appel à un consultant externe en ACV, sauf à des fins de validation par un tiers au besoin. Toutefois, ce projet de recherche visant à accompagner le partenaire industriel dans sa démarche d'opérationnalisation ACV, nous considérerons l'opérationnalisation de l'ACV dans une phase de déploiement primaire, où l'étude ACV en tant que telle est réalisée par un consultant ACV en externe, expert dans le domaine. Toutefois, la récupération des données et la coordination nécessaire sur site et lors de la conception seront assurées par un coordonnateur

environnement interne à l'entreprise partenaire. En somme, ce projet s'attachera à développer une méthodologie d'opérationnalisation proche de la réalité du terrain, avec les ressources ACV accessibles à ce jour. La méthodologie ne vise pas à exploiter un cas « idéal » où le recours à l'ACV est entièrement acquis et déployé. Ainsi, l'ensemble des éléments de l'ouvrage ne seront pas nécessairement pris en compte dans les modèles.

4.5 Portée de l'ACV envisagée chez le partenaire industriel

Les informations à traiter pour une ACV diffèrent grandement d'un projet à un autre en fonction de la portée qui est envisagée. Dans le cadre du bâtiment, il est possible de ne prendre en compte que les matériaux, ou de prendre en compte les émissions liées aux opérations, ou encore à la maintenance et à l'exploitation du bâtiment. Il est théoriquement possible de prendre en compte l'ensemble de ces éléments. Afin de construire une méthodologie qui soit applicable au partenaire industriel, il est nécessaire de définir la portée globale des études ACV que l'on souhaite décrire dans la présente étude. Compte tenu des informations accessibles à ce jour, et du logiciel ACV qui a vocation à être utilisé chez le partenaire industriel, la phase d'utilisation, de maintenance et de fin de vie du bâtiment ne seront pas traitées dans ce mémoire. Seules les phases de pré-construction et construction seront décrites.

De plus, les discussions avec le partenaire industriel, et nos connaissances sur l'ACV ont permis de distinguer pour notre étude deux manières d'aborder l'ACV dans le cadre de ce projet de recherche. Ces deux manières d'aborder l'ACV sont représentées dans la Figure 4.5 ci-dessous.

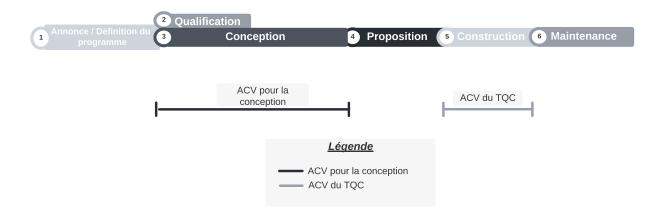


Figure 4.5 Deux manières d'aborder l'ACV pour les projets de construction

Le premier cas est celui de l'ACV qui est menée lors de la conception, en phase de pré-construction, pour optimiser les performances environnementales de l'ouvrage à construire. L'ACV est menée à titre d'aide à la prise de décision pour la conception de l'ouvrage en étudiant différentes solutions de conception. C'est généralement cette approche qui est abordée dans la littérature scientifique sur le sujet. On peut utiliser l'ACV afin de comparer deux matériaux, soit en faisant seulement l'ACV de chaque matériau, soit en faisant l'ACV de l'ensemble du lot concerné. La définition de la portée de l'étude ACV dépendra des besoins et la distinction de ces deux cas n'est pas nécessaire dans le cadre du présent mémoire.

Le second cas est celui de l'ACV de l'ouvrage tel que construit, aussi appelé TQC. L'ACV du TQC permet de faire une quantification des émissions carbone du bâtiment TQC ainsi que des opérations qui ont permis de l'ériger. Cette ACV ne permet pas d'optimiser la conception du bâtiment, mais permet de faire un retour d'expérience pour les projets futurs. Elle permet de connaître, a posteriori, les catégories d'opérations ou de produits qui émettent le plus dans la construction. Ce retour d'expérience permettrait à l'industrie de la construction de quantifier les pôles les plus sensibles en termes d'émission carbone, et de les améliorer en en faisant un suivi. L'étude ACV du tel que construit sert également à des fins de communication sur l'empreinte environnementale du bâtiment pour ses futurs usagers et exploitants. Enfin, dans le cas où les professionnels de la construction souhaitent balancer leur empreinte carbone, l'ACV du TQC permet de connaître l'empreinte à compenser. Il existe plusieurs manières de compenser une empreinte carbone. Par exemple, pour balancer leur empreinte carbone, certaines entreprises de construction créent des espaces verts autour de leur construction, ou reversent des fonds à d'autres entreprises qui se chargent d'assurer la compensation carbone.

Ces deux manières d'aborder l'ACV seront traitées dans le présent mémoire. Il a semblé important d'expliquer la distinction puisque les activités des processus d'affaires engendrés ne sont pas les mêmes et n'interviennent pas au même moment dans les deux cas. Le premier intervient en effet en pré-construction, tandis que le second intervient en phase de construction. Toutefois, le principe de l'ACV reste le même, à savoir, de quantifier l'empreinte carbone d'un produit par le biais d'une méthodologie de type ACV.

4.6 Conclusion : spécifications pour la proposition de modèle

La prise d'information chez le partenaire industriel a permis de mieux comprendre la chronologie d'intervention de l'entrepreneur général dans la réalité des projets, et ce, pour chaque mode de réalisation considéré. De plus, nos recherches ont permis d'isoler deux manières distinctes d'aborder l'ACV : une première en conception lors de la pré-construction à des fins d'optimisation et une seconde essentiellement à des fins de retour d'expérience et de communication, qui vise à quantifier les données du TQC et des opérations sur site en phase de construction. Ce sont ces deux visions de l'opérationnalisation ACV que nous prendrons en compte pour la proposition de modèle. Les discussions avec les professionnels de la construction ont permis de comprendre certaines limites concernant l'opérationnalisation de l'ACV à date dans les projets de construction, avec notamment un manque d'intégration des sous-traitants en amont du projet en DBB, en gérance et en DB, mais également un manque d'implication de l'entrepreneur général en DBB, et dans une moindre mesure, en gérance. Cette approche d'analyse de l'existant nous a permis d'orienter notre proposition de modèle vers un modèle proche de l'existant, en incluant l'opérationnalisation de l'ACV dans les processus d'affaires existants et non vers un modèle « idéal » d'opérationnalisation ACV, plus complet et intégré, mais également plus éloigné de la réalité actuelle de l'industrie de la construction canadienne. La proposition de modèle sera, selon toutes les remarques précédentes, un modèle découpé en deux phases du projet de construction et visera à représenter l'opérationnalisation de l'ACV pour les trois modes de réalisation avec les moyens actuels du partenaire industriel.

CHAPITRE 5 ÉTUDE PRESCRIPTIVE

5.1 Introduction

La première étude descriptive a permis de poser le contexte du partenaire industriel, les contraintes et les enjeux de la méthodologie d'opérationnalisation d'ACV pour une entreprise qui souhaite supporter la transition vers des projets de construction avec une ACV. Une fois ce contexte explicité, selon la DRM, il en vient de mener l'étude prescriptive. Ce chapitre présente en détail l'élaboration de la proposition de méthodologie, à savoir une méthodologie d'opérationnalisation ACV pour trois modes de réalisation du point de vue de l'entrepreneur général. Cette méthodologie a pour objectif d'accompagner le partenaire industriel dans sa démarche de mise en œuvre de l'ACV dans ses projets.

5.2 Critères méthodologiques

Comme détaillé lors de la section Revue critique, aucune proposition de modèle étudié dans la présente revue de littérature ne fait foi d'une méthodologie structurée selon les cinq critères décrits pour le MEM (Zellner, 2011). Pour rappel, ces cinq critères doivent être présents dans une méthodologie pour que cette dernière permette réellement d'améliorer les processus au sein des entreprises. Ces cinq éléments sont :

- Un modèle de procédure, défini par un ensemble ordonné d'activités à réaliser pour atteindre un objectif donné ;
- Un ensemble de techniques nécessaires à la réalisation des activités, qui est la manière d'obtenir les résultats. Une technique correspond à ce que l'on appelle une méthode et peut être supportée par des outils ;
- Des résultats clairement définis, soit les artéfacts résultants d'une activité (par exemple les documents);
- Des rôles, qui permettent de comprendre qui est responsable de quelle activité et quelles sont les compétences nécessaires à la réalisation d'une activité donnée; et
- Un modèle d'information, qui relie les éléments décrits ci-dessus et représente leurs liens.

Afin d'offrir une méthodologie optimale pour le partenaire industriel, la proposition de ce mémoire s'attachera à présenter ces cinq éléments.

Le premier élément, modèle de procédure, est réalisé avec la méthodologie de modélisation des processus d'affaires BPMN (*Business Process Model and Notation*). Le recours à cette méthodologie permettra d'apporter de la rigueur à la proposition et d'être comprise et utilisée au besoin par d'autres industriels, même non familiers avec l'ACV. Le BPMN permet de décrire une succession d'activités de manière détaillée, mais simple de compréhension sous forme graphique. Cette méthodologie de modélisation des processus d'affaires est normalisée par la norme internationale ISO/CEI19510 (International Organization for Standardization, 2013). Un résumé des symboles utilisés de la méthodologie BPMN est présenté dans la figure ci-dessous.

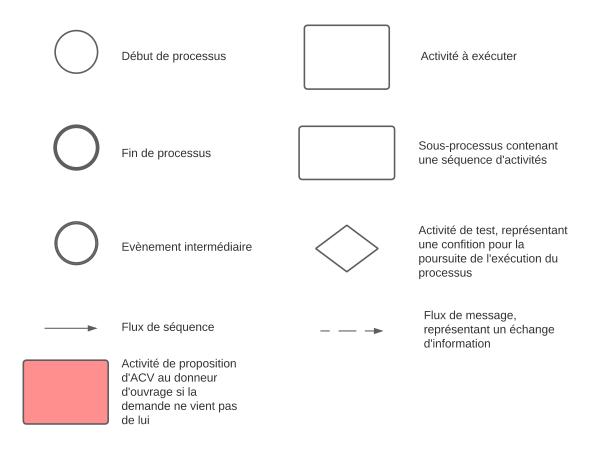


Figure 5.1 Symboles de la cartographie BPMN

5.3 Développement de la méthode

Notre proposition est construite dans le but de pallier les manques de la littérature actuels en s'appuyant sur le cas du partenaire industriel. Ainsi, la section de revue de littérature et d'analyse de l'existant permet d'expliciter les contraintes et enjeux de la méthodologie à construire, en prenant en compte le contexte dans lequel elle s'inscrit. La méthodologie sera développée dans le cas où c'est le donneur d'ouvrage qui demande une ACV pour son projet. Le cas où l'entrepreneur général souhaite proposer une ACV pour un projet sera également traité, afin d'accompagner notre partenaire industriel dans sa démarche. L'ACV est étudiée ici sous deux angles : celui où on l'utilise en conception et celui où on l'utilise en phase de construction pour quantifier l'impact environnemental de l'ouvrage tel que construit, en livraison de l'infrastructure. La méthode a été réalisée sous le logiciel LucidChart.

La méthode a été construite grâce aux observations réalisées lors du stage en immersion chez le partenaire industriel, à des entrevues réalisées avec des professionnels de la construction exerçant chez le partenaire industriel dans plusieurs départements, ainsi que par l'étude de plusieurs cartographies de processus existantes au sein du partenaire. Il est à noter que les cartographies étudiées avaient été élaborées dans un contexte très différent du contexte de ce mémoire. De ce fait, certaines informations concernant les activités du processus ont été extraites, mais ont dû être entièrement remodelées. La contribution la plus importante pour le modèle a été l'échange d'informations lors des entrevues. Les entrevues ont été menées auprès de professionnels exerçant dans différents départements du partenaire industriel. Les profils des intervenants sont décrits dans le tableau ci-dessous. Par souci de confidentialité, les identités de ces derniers ne sont pas divulguées.

Tableau 5.1 Intervenants interrogés de l'entreprise partenaire

N° intervenant	Profession	Années d'expérience		
1	Gérant de projet spéciaux et amélioration continue	>10		
2	Gérant de projet	>10		
3	Gérant de projet innovation et chantier	>10		
4	Gérant de projet	>10		
5	Coordonnateur BIM VDC	<5		
6	Coordonnateur BIM	<5		
7	Gestionnaire d'estimation	>10		
8	Coordonnateur conception – conseiller environnement	>10		
9	Gestionnaire de proposition, concepteur de formation et VP Pré- construction	>10		

Les profils des professionnels interrogés sont très différents à la fois par leurs différences d'expérience en années, mais également par la variété de leur expertise. Cette variété permet de croiser les points de vue et d'apporter davantage de fiabilité à notre proposition de modèle.

5.3.1 Découpage des processus et sous-processus

Notre méthodologie vise à exposer le processus d'opérationnalisation ACV du point de vue de l'entrepreneur général selon trois modes de réalisation, que sont la conception-soumission-construction, la gérance pour services et construction, ainsi que la conception-construction. Les processus des trois modes de réalisation sont réalisés de manière distincte, chacun étant différent. L'objectif étant d'avoir une cartographie claire et compréhensible, et le processus étant complexe,

il était nécessaire de découper les processus en plusieurs parties. Le découpage a été réalisé en tenant compte des spécificités de chaque mode de réalisation en jeu. Pour les trois modes de réalisation, on retrouve un processus de pré-construction et un processus de construction. Il est à noter que la pré-construction concerne toutes les activités réalisées en amont de la construction et englobe la phase de proposition et de conception pour le design évoqué précédemment. Bien que certaines étapes de pré-construction se prolongent en construction, par souci de clarté dans le modèle, il était nécessaire de séparer ces deux phases. En effet, elles impliquent des processus d'affaires de nature différente. Au sein de ces processus, il a été rendu nécessaire d'ajouter un niveau de découpage supplémentaire afin d'alléger la cartographie. Par exemple, le processus de construction contient un sous-processus de niveau 2 de vérification des fiches techniques. Cela permet que le processus de niveau 1 construction soit moins lourd, mais qu'il contienne suffisamment de détail dans le sous-processus concerné. Il en est de même dans le processus de pré-construction pour la conception-construction, dans lequel on intègre un sous-processus de niveau 2 d'analyse des éléments de conception par l'étude ACV.

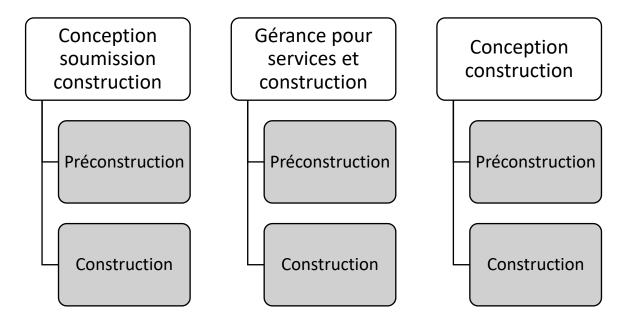


Figure 5.2 Découpage des processus d'affaires pour chaque mode de réalisation étudié

5.3.2 Élaboration de la liste des activités et rôles

La première étape consistait à créer une liste d'activités ordonnées pour chaque mode de réalisation en les scindant par processus. Ensuite, le ou les acteurs responsables de chaque activité ont été déterminés. Si l'activité est déjà présente dans les pratiques du partenaire avant la mise en œuvre de l'ACV, le rôle revient souvent à l'acteur qui en avait déjà la charge. S'il s'agit d'une nouvelle activité entièrement créée pour l'opérationnalisation ACV, alors il y a deux cas de figure. On étudie si l'activité peut rentrer dans le champ d'action d'un acteur déjà existant, par le biais de discussions avec ce dernier. Si ce n'est pas le cas, alors il y a création d'un nouvel acteur pertinent et l'activité lui incombe. Concernant les acteurs créés pour le processus, les rôles sont en réalité inspirés de postes que le partenaire industriel souhaite à terme ouvrir dans son entreprise. Le rôle de coordonnateur environnement par exemple n'a pas été entièrement créé pour ce projet. C'est un poste que l'entreprise partenaire a créé très récemment en prévision d'adopter davantage de pratiques environnementales dans ses projets. Dans le cadre de ce projet de recherche, voyant la direction que l'industriel souhaite faire prendre à ce poste, des rôles davantage liés à l'ACV lui ont été incombés.

Une fois la liste des activités ordonnées et des rôles établis pour chaque processus de chaque mode de réalisation, il est nécessaire de transformer la liste en cartographie graphique selon le modèle BPMN. Selon ce dernier, chaque activité est représentée par une case et les acteurs sont représentés sous forme de couloirs. Par exemple, si l'activité X est réalisée par l'acteur Y, alors la case correspondante à X est positionnée dans le couloir Y.

5.3.3 Les techniques

Il est nécessaire de décrire les techniques associées à chaque activité (Zellner, 2011) afin de produire une méthode consistante. Les techniques sont nécessaires à la réalisation des activités, elles sont la manière d'obtenir les résultats. On l'appelle également méthode et elle peut être supportée par des outils. Les techniques seront ici décrites pour chaque activité. Si une activité n'implique aucune technique particulière, alors la mention S/O pour Sans Objet sera inscrite dans la colonne prévue à cet effet.

5.3.4 Les résultats

Afin de proposer une méthodologie pertinente, toujours dans la lignée des cinq critères, il est nécessaire de décrire les résultats liés aux différentes activités (Zellner, 2011). Ces résultats correspondent aux artéfacts résultants d'une activité, comme les documents qui y sont associés. Pour ce faire, une liste des intrants et extrants de chaque activité a été établie. Cette liste a non seulement permis d'enrichir le modèle, mais également de vérifier la cohérence du processus graphique, en étant capable d'observer les liens entre les différentes activités. Par souci de clarté pour la cartographie graphique, les artéfacts sont décrits seulement dans les tableaux d'intrants extrants et techniques et ne sont pas intégrés visuellement dans la cartographie.

5.3.5 Le modèle d'information

L'ensemble des éléments présentés précédemment constituent le modèle d'information.

5.3.6 Acteur à l'initiative de l'ACV

La réflexion autour du modèle à construire a permis de mettre en lumière deux cas à expliquer concernant l'acteur à l'initiative de l'ACV dans un projet de construction. Comme expliqué dans la section Revue de littérature et dans la section Analyse de l'existant, le recours à l'ACV n'est pas encore mature dans l'industrie de la construction au Canada. L'industriel partenaire de ce projet de recherche, entrepreneur général, souhaite initier le recours à l'ACV dans les projets auxquels il participe. Sa démarche s'inscrit dans une volonté d'avoir recours à l'ACV de manière régulière, à terme, dans les projets de construction. La question dans le cadre de ce mémoire était de savoir si nous devions considérer les processus d'affaires dans le cas où le donneur d'ouvrage demande une ACV dans son projet, ou dans le cas réel où c'est l'entrepreneur général qui l'initie. Il est à noter que le premier cas ne représente pas la réalité actuelle, étant donné que le recours à l'ACV n'est pas encore courant dans l'industrie de la construction au Canada. Toutefois, nous considérerons en phase de pré-construction pour la conception-construction que c'est le donneur d'ouvrage qui le demande ou que c'est un choix commun du donneur d'ouvrage et de l'entrepreneur général en tout début de projet. Étant donné que la marge de manœuvre de l'entrepreneur général est plus limitée en pré-construction dans les deux autres modes de réalisation, nous envisagerons le cas où l'entrepreneur général propose de mener une ACV du TQC au donneur d'ouvrage. Cette proposition se fait en pré-construction, mais ne prend effet qu'en phase de construction. Le cas où le donneur d'ouvrage demande une ACV en pré-construction en gérance et en conception soumission construction n'a pas été traitée, puisque l'entrepreneur général n'a a priori pas d'influence sur cette tâche. Cette réflexion a été menée en cours d'élaboration du modèle. Elle a permis de nourrir la compréhension du rayon d'action de l'entrepreneur général dans les différents modes de réalisation, au cœur de ce sujet de recherche.

5.4 Processus de pré-construction en conception-soumissionconstruction

Le modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de pré-construction en conception soumission est présenté en Figure 5.3

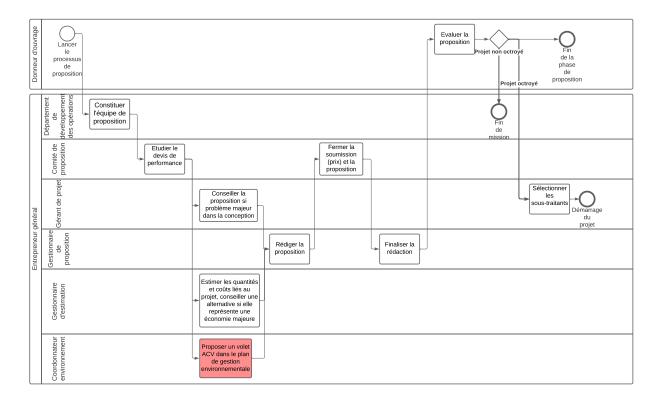


Figure 5.3 Modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de pré-construction en conception soumission construction

Le modèle est composé de 10 activités. Il décrit le déroulé de la phase de pré-construction en conception soumission construction. Dans ce mode de réalisation, l'entrepreneur général n'a aucune marge de manœuvre sur la conception. D'après les discussions avec les professionnels de

la construction, il n'est donc pas du ressort de l'entrepreneur général de coordonner une ACV pour optimiser la conception de l'ouvrage à construire. Toutefois, nous avons souhaité représenter la phase de pré-construction, car elle présente un intérêt dans le cadre de l'opérationnalisation ACV. L'entrepreneur général peut éventuellement proposer au donneur d'ouvrage de mettre en œuvre une ACV du TQC pour la phase de construction, lors de l'activité qui est colorisée en rouge. Avoir cartographié la phase de pré-construction permet également de souligner le faible rayon d'action de l'entrepreneur général en conception-soumission-construction.

La phase de pré-construction en conception-soumission-construction se déroule comme suit. Les équipes de développement des opérations reçoivent le document de proposition de la part du donneur d'ouvrage. Elles constituent l'équipe de proposition, chargée d'élaborer la réponse de proposition. L'équipe de proposition, appelée ici comité de proposition, est constituée par un gérant de projet, un gestionnaire de proposition, un gestionnaire d'estimation, ainsi qu'un coordonnateur environnement. Le comité de proposition va étudier le devis de performance et relayer chaque expertise à son responsable. Ainsi, le gérant de projet va étudier la faisabilité de l'ouvrage et apporter des conseils aux plans et devis s'il y a un conflit majeur dans la conception. À moins d'un problème majeur, ce dernier n'a pas le pouvoir de proposer une modification de la conception. Le gestionnaire d'estimation est lui responsable d'estimer les quantités et les coûts incombés au projet. De même que pour le gérant de projet, il lui est possible de proposer une alternative dans les matériaux si elle représente une économie majeure. Le coordonnateur environnement a pour rôle de proposer un volet ACV dans la rédaction du plan de gestion environnementale pour la construction. Ainsi, à cette étape, il est possible pour l'entrepreneur général de proposer de mener une ACV sur l'ouvrage TQC. Le gestionnaire de proposition rassemble toutes ces informations afin de rédiger une ébauche de proposition. Le comité de proposition se rassemble ensuite pour fermer un prix et sceller la proposition. Le gestionnaire de proposition rédige ensuite la proposition définitive, qui sera évaluée par le donneur d'ouvrage. Si le donneur d'ouvrage octroie le contrat à l'entrepreneur général, alors ce dernier peut ensuite sélectionner les sous-traitants avec lesquels il souhaite faire affaire. Le partenaire industriel possède un outil d'évaluation des sous-traitants et partenaires en interne. Cet outil lui permet d'orienter, si possible, sa sélection de sous-traitants vers des partenaires soucieux de l'environnement et ayant l'habitude de travailler sur des projets avec ACV.

Le détail des activités, intrants, extrants, et techniques est décrit dans le Tableau A. 1.

5.4.1 Modèle d'information et prévalidation du modèle

Dans un effort de validation, nous avons identifié et illustré dans un diagramme d'interrelation en Figure 5.4 les intrants et extrants impliqués dans le modèle présenté. Il est à noter que la codification des intrants et extrants est décrite dans le Tableau A. 1.

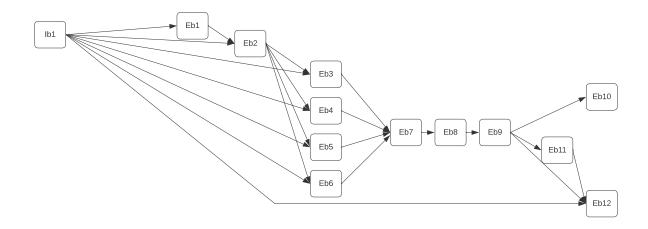


Figure 5.4 Diagramme d'interrelation du modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de pré-construction en conception soumission construction

Le diagramme d'interrelation permet de souligner visuellement s'il y a des activités qui ne produisent pas d'extrant ou si certains intrants ne sont pas transformés en extrant. L'exercice de réaliser le diagramme d'interrelation a permis de déceler les erreurs et de les modifier en conséquence. Le présent diagramme d'interrelation permet de vérifier que chaque intrant et chaque extrant est pertinent pour l'exécution de la méthode proposée.

5.5 Processus de pré-construction en gérance pour services et construction

Le modèles de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de pré-construction en gérance pour services et construction est présenté en Figure 5.5.

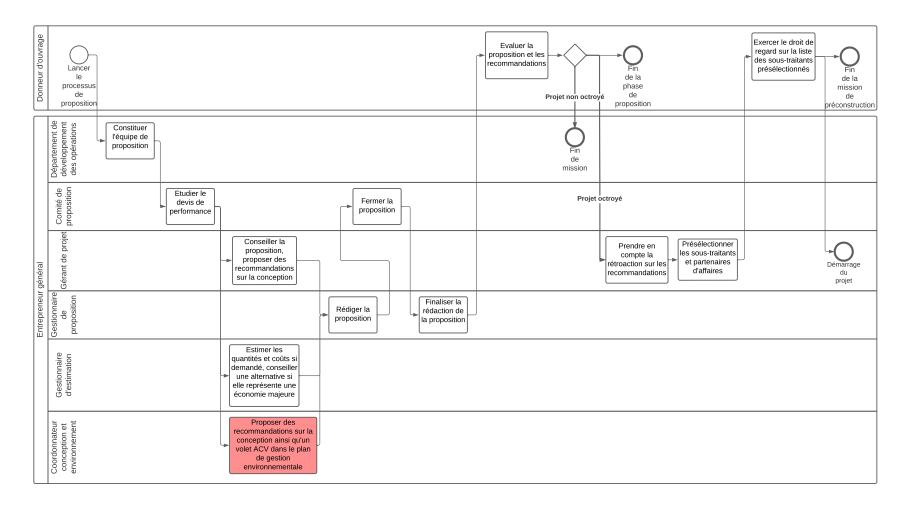


Figure 5.5 Modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de pré-construction en gérance pour services et construction

Le modèle est composé de 12 activités. Il décrit le déroulé de la phase de pré-construction en gérance pour services et construction. Dans ce mode de réalisation, l'entrepreneur général a une marge très variable sur la conception en fonction du projet considéré. Comme expliqué précédemment, d'après les professionnels rencontrés, traditionnellement, l'entrepreneur général a très peu de marge de manœuvre sur la conception de ces projets. D'après les discussions menées avec les professionnels de la construction, il n'est donc pas du ressort de l'entrepreneur général de coordonner une ACV pour optimiser la conception de l'ouvrage à construire. Toutefois, nous avons souhaité représenter la phase de pré-construction, car elle présente un intérêt dans le cadre de l'opérationnalisation ACV. L'entrepreneur général peut éventuellement proposer au donneur d'ouvrage de mettre en œuvre une ACV du TQC pour la phase de construction, lorsque l'activité est en rouge, et fait partie de la phase de pré-construction.

Les équipes de développement des opérations reçoivent la demande de proposition de la part du donneur d'ouvrage. La constitution de la proposition se déroule globalement de la même façon qu'en conception soumission construction. Les équipes de développement des opérations regroupent un gérant de projet, un gestionnaire de proposition, un gestionnaire d'estimation si une estimation est demandée dans le dossier d'appel d'offres, un coordonnateur environnement et conception. Le comité de proposition, comité qui regroupe les acteurs exposés précédemment, étudie le devis de performance et divise les tâches à étudier aux acteurs qui en sont responsables. Ainsi, le gérant de projet étudie la conception déjà établie et propose des recommandations en termes de constructibilité, de disponibilité des matériaux ou encore par rapport aux prix pratiqués. Si le donneur d'ouvrage demande explicitement un estimé du coût du projet, le gestionnaire d'estimation va estimer les quantités et coûts incombés au projet. S'il a connaissance d'une solution de conception qui est plus économique que celle proposée, il peut proposer une alternative. Il est à noter que le coordonnateur conception et environnement peut être un même acteur, ayant des compétences dans les deux domaines, ou peut représenter deux acteurs séparés qui travaillent de pair. Il a pour rôle de proposer des recommandations concernant la conception de l'ouvrage pour des matériaux moins polluants. En outre, il est d'usage de proposer un plan de gestion environnementale dans la proposition, qui expose les mesures à prendre lors de la construction. Dans ce plan, l'entrepreneur général peut suggérer au donneur d'ouvrage de mener une ACV du TQC en phase de construction. En gérance pour services et construction, l'entrepreneur général a pour rôle d'épauler le donneur d'ouvrage dans son projet. De ce fait, il peut se permettre de proposer une ACV pour le projet et de l'accompagner dans cette démarche. Le gestionnaire de proposition agrège ensuite tous les commentaires et recommandations du gérant de projet, du gestionnaire d'estimation et des coordonnateurs conception et environnement afin de rédiger la proposition. Le comité de proposition se réunit ensuite afin de se mettre en accord sur la réponse de proposition puis le gestionnaire de proposition finalise la rédaction de la réponse de proposition. Le donneur d'ouvrage reçoit la proposition et l'évalue. Soit le contrat n'est pas octroyé à l'entrepreneur général, soit le projet lui est octroyé et le donneur d'ouvrage apporte des recommandations à la proposition pour l'aligner avec sa vision sur le projet. Le gérant de projet prend en compte cette rétroaction et met à jour les informations nécessaires sur le projet. L'entrepreneur général, par le biais du gérant de projet, doit proposer une sélection de sous-traitants et partenaires d'affaires pour réaliser l'ouvrage. Il peut s'appuyer sur un outil d'évaluation des partenaires dont il dispose en interne. Si l'ACV du TQC est envisagée par le donneur d'ouvrage, il est alors souhaitable de sélectionner des partenaires ayant une expérience sur de tels projets. Sur la base de cette liste, le donneur d'ouvrage valide ou invalide la proposition des partenaires d'affaires. Le projet peut ensuite démarrer en phase de construction.

Le détail des activités, intrants, extrants et techniques est décrit dans le Tableau B. 1.

5.5.1 Modèle d'information et prévalidation du modèle

Dans un effort de validation, nous avons identifié et illustré dans un diagramme d'interrelation en Figure 5.6 les intrants et extrants impliqués dans le modèle présenté. Il est à noter que la codification des intrants et extrants est décrite dans le Tableau B. 1.

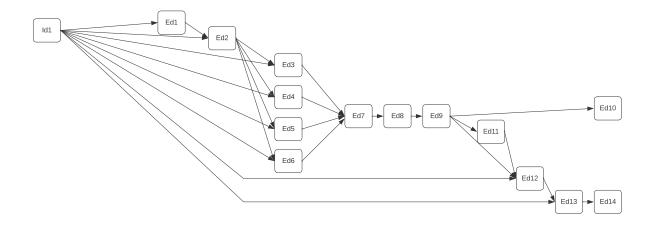


Figure 5.6 Diagramme d'interrelation du modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de pré-construction en gérance pour services et construction

Le diagramme d'interrelation permet de souligner visuellement s'il y a des activités qui ne produisent pas d'extrant ou si certains intrants ne sont pas transformés en extrant. L'exercice de réaliser le diagramme d'interrelation a permis de déceler les erreurs et de les modifier en conséquence. Le présent diagramme d'interrelation permet de vérifier que chaque intrant et chaque extrant est pertinent pour l'exécution de la méthode proposée.

5.6 Processus de pré-construction en conception construction

Le modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de pré-construction en conception-construction est présenté en Figure 5.7. Il s'accompagne du sous-processus d'évaluation des solutions de conception par étude ACV, présenté en Figure 5.8.

Le modèle principal est composé de 21 activités et 1 sous-processus. Il décrit comment s'intègre l'opérationnalisation de l'ACV dans la phase de pré-construction en conception-construction. Dans ce mode de réalisation, l'entrepreneur général, appelé parfois concepteur-constructeur, a une importante marge de manœuvre concernant la conception de l'ouvrage.

En conception-construction, le donneur d'ouvrage lance la phase de proposition en définissant les spécifications. Lorsque le comité exécutif de l'entrepreneur général capture l'opportunité et valide celle-ci, il forme alors le consortium pour répondre à la proposition. Une fois associé à ses concepteurs, ces derniers émettent des recommandations concernant la conception et établissent les premiers plans et maquettes. Ces plans vont ensuite être étudiés par le gestionnaire de

conception et le coordonnateur environnement, ainsi que par une équipe de projet de construction, elle-même constituée du gérant de projet, surintendant et directeur de projet. Le gestionnaire de conception et le coordonnateur environnement examinent la conception et proposent des alternatives de conception. Les équipes de projet font de même. Toutefois, ils examinent la conception dayantage en termes de constructibilité, disponibilité des matériaux, cycle de vie. Sur la base de ces recommandations, le gestionnaire d'estimation fait une estimation des coûts et propose des études comparatives des différentes solutions envisagées. Il peut également émettre des recommandations s'il a connaissance de solutions plus économiques et semblables à celles proposées. Certains éléments de conception, ainsi que certaines recommandations proposées par le gestionnaire de conception et le coordonnateur environnement ainsi que par les équipes de projet construction sont ensuite évaluées par le biais d'une étude ACV. L'étude ACV permet de comparer certaines solutions de conception en termes d'émissions carbone. Le gestionnaire de conception et le coordonnateur environnement étudient ensuite le rapport ACV fourni par l'expert et peut mettre en avant certaines solutions de conception. Le gestionnaire de proposition rassemble tous ces éléments, afin d'être capable de les présenter lors de revues de conception. Selon les professionnels interrogés, les revues de conception ont lieu sur une base hebdomadaire. Tous les acteurs participant à la proposition y sont conviés, selon les sujets qui y sont discutés. Le comité décisionnel qui y assiste est donc composé des concepteurs, du gestionnaire de proposition, du gestionnaire de conception et du coordonnateur environnement, du coordonnateur BIM, de l'équipe de projet de construction et du gestionnaire d'estimation. Les revues permettent de passer en revue les recommandations de chacun et de sélectionner les solutions de conception qui offrent le meilleur compromis entre coûts, ACV, constructibilité, conformité aux spécifications du donneur d'ouvrage, etc. Ces étapes se déroulent donc autant de fois que nécessaire. Les concepteurs mettent ensuite à jour les éléments de conception sélectionnés dans les plans et maquettes 3D, puis le gestionnaire de proposition constitue la proposition avec les plans et devis. Le donneur d'ouvrage étudie la proposition. Soit le consortium n'est pas sélectionné et ce projet s'arrête, soit il est sélectionné et la pré-construction se poursuit. S'ensuit alors un schéma d'activités semblable à celui précédemment expliqué. La conception n'est pas questionnée entièrement, mais mise à jour et évaluée de nouveau au regard des commentaires du donneur d'ouvrage. Une fois à un stade assez avancé pour débuter la construction, les concepteurs fournissent les plans scellés pour construction qui seront validés par le donneur d'ouvrage. Cette étape clôture la pré-construction.

Le détail des activités, intrants, extrants, et techniques est décrit dans Tableau C. 1 et le Tableau E. 1.

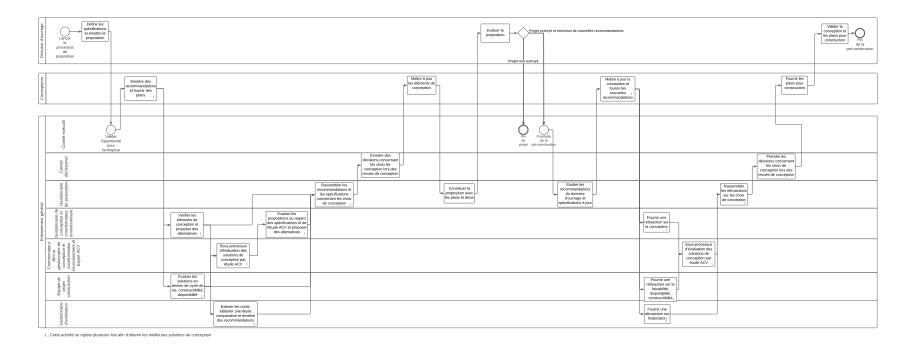


Figure 5.7 Modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de pré-construction en conception construction

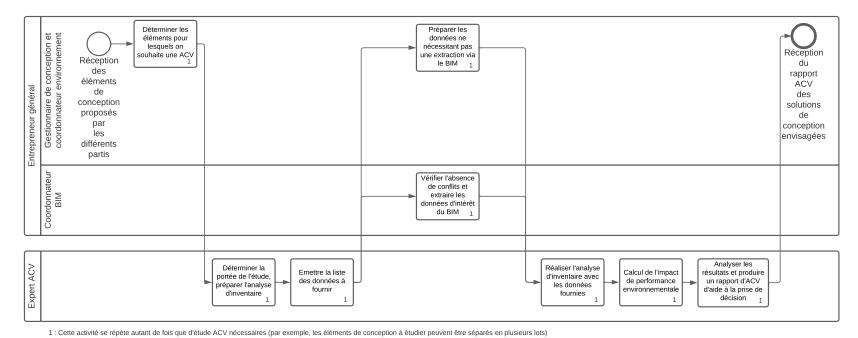


Figure 5.8 Sous-processus d'évaluation des solutions de conception par étude ACV

5.6.1 Modèle d'information et prévalidation du modèle

Dans un effort de validation, nous avons identifié et illustré dans un diagramme d'interrelation en Figure 5.9 et en Figure 5.10 les intrants et extrants impliqués dans le modèle présenté. Il est à noter que la codification des intrants et extrants est décrite dans le Tableau C. 1 et le Tableau E. 1.

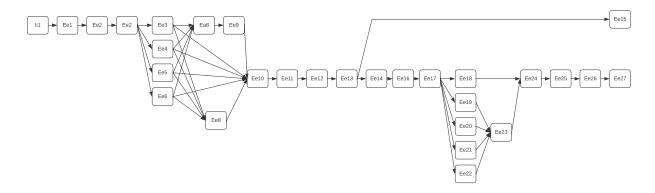


Figure 5.9 Diagramme d'interrelation du modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de pré-construction en conception construction

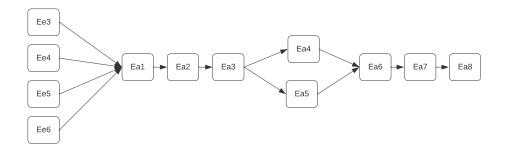


Figure 5.10 Diagramme d'interrelation du sous-processus d'évaluation de la conception par ACV

Le diagramme d'interrelation permet de souligner visuellement s'il y a des activités qui ne produisent pas d'extrant ou si certains intrants ne sont pas transformés en extrant. L'exercice de réaliser le diagramme d'interrelation a permis de déceler les erreurs et de les modifier en conséquence. Le présent diagramme d'interrelation permet de vérifier que chaque intrant et chaque extrant est pertinent pour l'exécution de la méthode proposée.

5.7 Processus de construction

Les discussions avec les professionnels interrogés ont permis de comprendre qu'il n'existait pas de différence majeure dans les processus d'affaires de la phase de construction entre les trois modes de réalisation étudiés. De ce fait, le mode de réalisation en jeu dans le projet n'a pas d'impact en phase de construction pour l'opérationnalisation de l'ACV. Ainsi, le modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans la phase de construction est commun pour la conception soumission construction, la gérance pour services et construction et pour la conception construction.

Comme expliqué précédemment, il s'agit, en phase de construction, de mener l'ACV de l'ouvrage TQC. Il est à noter que, quel que soit l'acteur ayant initié l'ACV dans le projet, cela n'a pas d'impact dans ce processus. Que ce soit l'entrepreneur général qui ait souhaité faire une ACV ou que ce soit demandé par le donneur d'ouvrage en amont de la proposition, cela n'a pas d'incidence sur l'ACV du TQC.

Le modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans la phase de construction est présenté en Figure 5.11 et le sous-processus associé de vérification des fiches techniques est présenté en Figure 5.12.

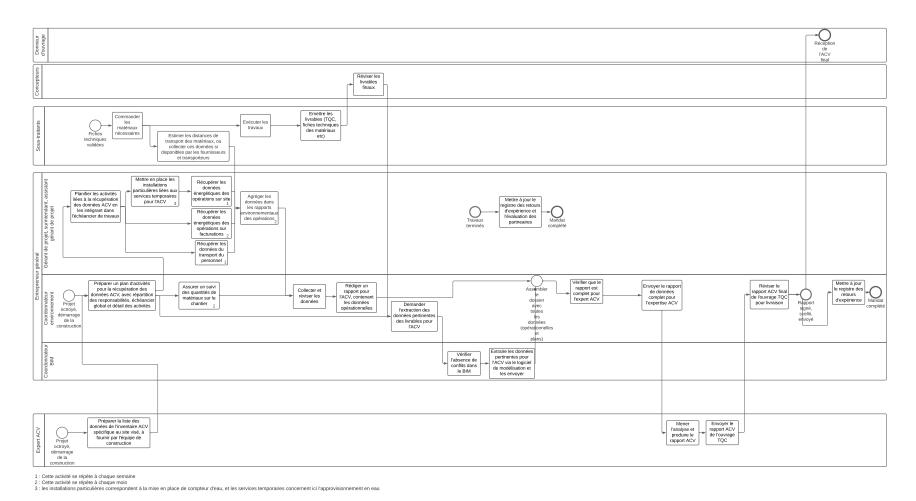


Figure 5.11 Modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de construction

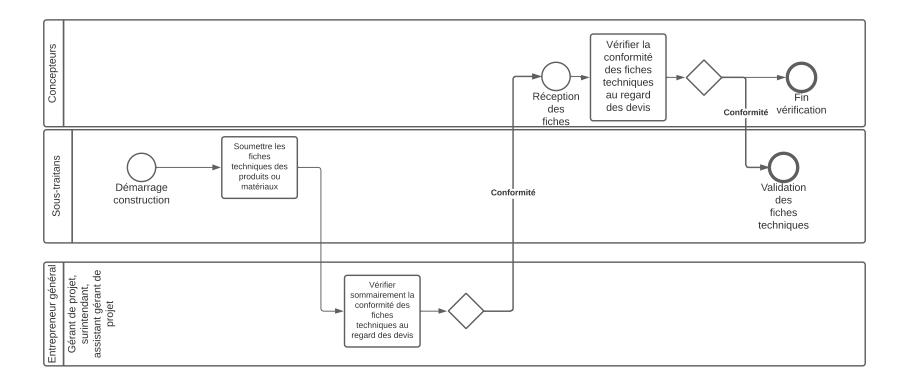


Figure 5.12 Sous-processus de vérification des fiches techniques

En phase de construction, les équipes de terrain sont gérées par le gérant de projet, le surintendant et l'assistant gérant de projet. Ces trois acteurs travaillent de pair. Alors que le gérant de projet gère les liens avec les acteurs externes du chantier, le surintendant est davantage responsable des équipes et missions de terrain. Néanmoins, leurs mandats peuvent se recouper. C'est pourquoi ils sont regroupés dans un même couloir pour la cartographie BPMN. Chaque chantier se verra attribuer un coordonnateur environnement, qui a la charge d'accompagner les équipes d'opération dans la démarche de respect de l'environnement, et dans le cas présent, d'aider à mener à bien l'ACV du projet.

Un opérateur externe, l'expert ACV, va préparer une liste des données d'ACV à fournir et l'envoyer au coordonnateur environnement. Cette liste de données lui permettra ensuite de mener les calculs de l'ACV. Le coordonnateur environnement prépare, sur la base de cette liste, un plan d'activités afin de récupérer les données et d'organiser la répartition de celles-ci. Sur la base de ce plan, les équipes de terrain planifient les activités qui leur incombent. S'il y a des installations particulières d'ouvrages provisoires liées à l'ACV à prévoir, le gérant de projet les repère sur le plan de site en amont de la construction. Les données concernant la consommation d'eau ne sont pas des données actuellement relevées sur les chantiers, d'autant plus que l'eau n'est pas facturée au Canada. Une installation d'ouvrage provisoire nécessaire afin de relever les données liées à la consommation d'eau serait un compteur d'eau. Un relevé régulier sur site, chaque semaine, par le surintendant permet alors d'accéder aux données réelles de consommation d'eau des opérations. En outre, une estimation des données liées au transport du personnel est récupérée par le surintendant ou l'assistant gérant de projet chaque semaine par observation. Les données énergétiques de consommation de gaz pour le chauffage et les données électriques pour les différents outillages sont récupérées sur les facturations par le gérant de projet chaque mois. Le coordonnateur environnement assure le suivi et l'enregistrement des quantités de matériaux acheminées sur chantier par observation directe sur site et en rend compte chaque mois. Cette dernière activité a été pensée après avoir fait le constat, lors des entrevues, que les sous-traitants ne seraient a priori pas enclins à renseigner ces informations. Toutefois, une fois les matériaux commandés, il est demandé aux sous-traitants d'estimer les distances de transport des matériaux ou de collecter ces données si elles sont connues par les fournisseurs et transporteurs. L'ensemble de ces données sont agrégées chaque mois dans un rapport environnemental des opérations par le gérant de projet. Le suivi et le relevé des données matérielles quantitatives concerne les livraisons sur site, ainsi que la fin de vie des matériaux sur site. Pour ce faire, le coordonnateur environnement gère la gestion des déchets, récupère les données de gestion de fin de vie des déchets, puis en rend compte chaque mois. Le coordonnateur environnement collecte le rapport environnemental mensuel ainsi que les données matérielles et rédige un rapport contenant toutes les données opérationnelles. En parallèle, au fur et à mesure de l'achèvement des travaux, les sous-traitants vont fournir les livrables, qui correspondent aux fiches techniques des produits utilisés, ainsi que les plans de leurs travaux tels que réalisés. Une fois les travaux terminés et les livrables TQC émis par les sous-traitants, le coordonnateur environnement demande l'extraction des données d'intérêt pour l'ACV des livrables TQC au coordonnateur BIM. Ces données vont venir compléter les données opérationnelles. Par exemple, si l'on n'a pas accès aux quantités de matériaux utilisés sur site, il est possible de les estimer avec les plans TQC.

Le coordonnateur BIM vérifie l'absence de conflit dans le modèle BIM et extrait les données d'intérêt. Le coordonnateur BIM agrège ces données avec le rapport des données opérationnelles. Une fois le rapport de données vérifié et complet, il l'envoie à l'expert ACV pour analyse. L'expert ACV réalise l'ACV et envoie un rapport ACV de l'ouvrage TQC au coordonnateur environnement, qui le révise, puis le transmet au donneur d'ouvrage. Ce rapport peut éventuellement être vérifié par une entité tierce au besoin pour certaines certifications environnementales. En fin de projet, le coordonnateur environnement remplit, de même que le gérant de projet et le surintendant, le registre des retours d'expérience, ainsi que l'évaluation des partenaires, dans la plateforme interne à l'entreprise.

En fin de chantier, il est nécessaire de récupérer les livrables, comprenant notamment les plans du TQC et les fiches techniques des produits utilisés. Ces données seront une source d'information concernant les données matérielles, afin de produire l'ACV de l'ouvrage tel que construit. Les commandes de matériaux sont réalisées par les sous-traitants. Toutefois, ils n'ont pas la main sur le choix des matériaux. En effet, chaque matériau est spécifié dans le devis qu'ils reçoivent préalablement de la part des concepteurs. Ainsi, une bonne définition des spécifications au regard de l'environnement dans le devis de performance et les documents de conception de la part des concepteurs et du donneur d'ouvrage peut permettre une optimisation de l'impact environnemental. En effet, les sous-traitants doivent se plier à ces exigences. À cette étape, il serait bénéfique de privilégier des produits ayant des fiches EPD (*Environmental Product Declaration*). Cependant, aujourd'hui, peu de produits au Canada ont une EPD, qui est une fiche contenant des informations

pour l'ACV du produit. À défaut d'avoir accès aux fiches EPD, l'expert ACV trouvera les informations nécessaires dans les fiches techniques. Avant que la commande ne soit passée, les fiches techniques contenant les renseignements sur les matériaux sont relayées aux concepteurs par le biais du gérant de projet. Cela permet une vérification de la conformité des fiches par rapport au devis. La commande n'est réalisée qu'une fois la fiche vérifiée. Le sous-processus de vérification des fiches techniques a été modélisé, car il représente une source d'information non négligeable pour la récolte des données ACV.

En somme, on voit que l'entrepreneur général joue un rôle majeur axé organisationnel dans l'opérationnalisation d'ACV en phase de construction. Il a en effet pour rôle de récolter les données, de constituer le dossier les contenant, ainsi que d'accompagner ses sous-traitants dans leur participation à la prise en compte de l'ACV dans leur travail. L'expertise ACV est externalisée. À terme, si l'entreprise partenaire développe un niveau d'expertise ACV suffisant, elle pourrait mener le calcul ACV en interne. Toutefois, une vérification par un acteur indépendant serait nécessaire. En outre, le choix des produits utilisés sur site n'est pas du ressort de l'entrepreneur général, mais bien des sous-traitants. L'entrepreneur général joue davantage un rôle de vérificateur et coordonnateur que de décisionnaire. Il a cependant le pouvoir de faire tous les relevés de consommation des opérations dont il est responsable. En phase d'exécution, d'après notre étude, il n'existe pas de différence notable entre les trois modes de réalisation étudiés, quant au rôle de l'entrepreneur général pour l'opérationnalisation ACV.

L'ensemble des intrants, extrants et techniques associés à chaque activité sont détaillés dans le Tableau D. 1 et le Tableau F. 1.

5.7.1 Modèle d'information et prévalidation du modèle

Dans un effort de validation, nous avons identifié et illustré dans des diagrammes d'interrelation en Figure 5.13 et Figure 5.14 les intrants et extrants impliqués dans le modèle présenté. Il est à noter que la codification des intrants et extrants est décrite dans le Tableau D. 1 et le Tableau F. 1.

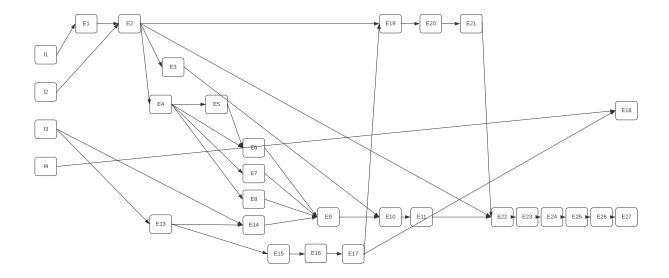


Figure 5.13 Diagramme d'interrelation du modèle de processus d'opérationnalisation ACV dans le processus de construction

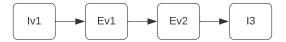


Figure 5.14 Diagramme d'interrelation du sous-processus de vérification des fiches techniques

Le diagramme d'interrelation permet de souligner visuellement s'il y a des activités qui ne produisent pas d'extrant, ou si certains intrants ne sont pas transformés en extrant. L'exercice de réaliser le diagramme d'interrelation a permis de déceler les erreurs et de les modifier en conséquence. Le présent diagramme d'interrelation permet de vérifier que chaque intrant et chaque extrant est pertinent pour l'exécution de la méthode proposée. Les deux diagrammes ont permis de retirer deux boucles de rétroaction, qui n'apportaient pas de valeur ajoutée aux processus. La première boucle de rétroaction concernait la vérification du modèle BIM, qui doit être réitérée plusieurs fois jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de conflit dans le BIM et que les données soient complètes. La seconde correspondait à une vérification du rapport de données ACV qui est envoyé à l'expert ACV. En effet, ce rapport doit être complet et contenir toutes les données nécessaires. S'il en manque, on devrait demander aux sous-traitants de compléter le modèle BIM avec les

informations du TQC ou aux équipes de construction de compléter les données du terrain manquantes, selon les omissions du rapport.

5.8 Discussion

L'élaboration des modèles d'opérationnalisation ACV a permis de mieux comprendre la répartition des rôles et des responsabilités de l'entrepreneur général dans les différents modes de réalisation.

La conception-construction, mode le plus intégré des trois étudiés, offre une très grande latitude de l'entrepreneur général dans l'opérationnalisation ACV en phase de conception lors de la préconstruction. En effet, il travaille de pair avec les concepteurs et peut donc coordonner l'étude ACV et participer aux choix de conception de l'ouvrage à bâtir. Le mode conception-soumissionconstruction ne permet a priori pas à l'entrepreneur général d'exercer une influence sur l'opérationnalisation ACV en phase de conception. Toutefois, il est possible de mener une ACV dans cette phase de projet. Seulement, elle doit être coordonnée et assurée par un autre acteur, qui pourrait être le concepteur, une firme de conseil en ACV ou le donneur d'ouvrage lui-même. Le mode de gérance pour services et construction est traditionnellement davantage semblable à la conception soumission construction. Cependant, les donneurs d'ouvrage ont tendance à pousser ce mode de réalisation dans une forme plus intégrée, qui se rapproche de la conception-construction. Pour la confection du modèle, nous avons fait le choix de représenter les processus d'affaires dans le mode de gérance plus traditionnel, car il est encore le plus courant aujourd'hui chez le partenaire industriel. En somme, pour l'opérationnalisation de l'ACV, à des fins d'optimisation de la conception, seul le mode de réalisation conception construction permet à l'entrepreneur général de se positionner comme moteur pour l'ACV. Malgré un rayon d'action de l'entrepreneur général plus réduit en gérance et en conception soumission construction qu'en conception construction, l'entrepreneur général peut avoir une démarche de leader dans l'opérationnalisation de l'ACV, puisqu'il peut prendre l'initiative de proposer ce service au donneur d'ouvrage, et ce, dans les trois modes de réalisation étudiés.

Concernant l'opérationnalisation de l'ACV en phase de construction, afin de quantifier les émissions de carbone de l'ouvrage TQC et des opérations, le mode de réalisation n'a pas d'influence par rapport à la latitude de l'entrepreneur général. En effet, ce dernier coordonne les parties prenantes dans les opérations intervenant dans cette phase du projet avec un rôle semblable

dans les trois modes de réalisation étudiés. De ce fait, l'entrepreneur général peut se positionner comme moteur dans l'opérationnalisation de l'ACV dans la phase de construction.

Les modèles proposés présentent néanmoins certaines limites. L'intégration des activités liées à l'opérationnalisation de l'ACV dans les processus d'affaires est hypothétique et a été imaginée sur la base des discussions avec les professionnels rencontrés.

5.9 Conclusion

Les discussions avec des professionnels exerçant dans différents départements ont permis d'offrir un point de vue le plus objectif possible pour le développement de la proposition, en croisant les expériences et points de vue de chacun. L'étude des diagrammes d'interrelation pour chaque modèle nous a permis de vérifier que les modèles proposés ne présentent pas d'activités superflues. Les modèles d'opérationnalisation ACV proposés ont donc permis de comprendre les différences de rayon d'action de l'entrepreneur général dans les trois modes de réalisation étudiés. En outre, ces modèles offrent une méthodologie au partenaire industriel qui souhaite mettre en œuvre l'ACV dans ses projets et de l'accompagner dans son positionnement vis-à-vis des autres parties prenantes. Ces modèles pourront être utilisés comme un guide de bonnes pratiques pour opérationnaliser l'ACV. La prochaine section permettra d'évaluer l'applicabilité et l'acceptation des modèles par le partenaire industriel.

CHAPITRE 6 SECONDE ÉTUDE DESCRIPTIVE

6.1 Introduction

À la suite de la proposition de modèle présenté en section précédente débute la dernière phase de la méthodologie DRM : la seconde étude descriptive. Cette section s'inscrit toujours dans le cadre d'étude du partenaire industriel. Ce chapitre consiste de ce fait à appliquer notre proposition au cas réel de l'industriel partenaire. Les modèles d'opérationnalisation y seront discutés avec des professionnels exerçant chez le partenaire industriel, notamment selon des critères de représentativité, de pertinence et d'applicabilité.

6.2 Évaluation de la méthode par le partenaire industriel

Cette phase d'évaluation consiste en un retour d'expérience de l'entreprise partenaire et vise à évaluer le niveau de représentativité et d'applicabilité du processus proposé. Cette sous-section vise donc à confronter le modèle proposé et les processus d'affaires réels du partenaire industriel par le biais d'entretiens semi-structurés pour valider la pertinence de notre modèle.

6.2.1 Indicateurs d'acceptation des processus adaptés au contexte de l'étude

Bien que les modèles proposés aient été construits sur la base de discussions avec plusieurs professionnels exerçant chez le partenaire industriel, une évaluation de ceux-ci est nécessaire afin de valider leur pertinence et de les compléter au besoin. Pour ce faire, nous avons mené des entrevues semi-structurées qui s'organisent en deux parties. La première partie consiste à évaluer le niveau d'acceptation des processus, c'est-à-dire à quantifier la pertinence et l'applicabilité de notre modèle. Une évaluation en termes quantitatifs est donc nécessaire à ce stade.

Le modèle, construit selon les processus BPMN, est essentiellement constitué d'activités, d'intrants, d'extrants et de rôles. Afin de vérifier si les cartographies reflètent la réalité du partenaire industriel et correspondent à leurs processus d'affaires, nous allons évaluer ces éléments séparément par le biais d'indicateurs d'acceptation. En outre, les modèles élaborés se veulent les plus simples possibles afin qu'ils soient abordables pour les professionnels non experts du domaine de l'ACV. De ce fait, certains éléments ont été pris en compte dans les cartographies tandis que d'autres, jugés moins pertinents dans le contexte de l'opérationnalisation ACV, n'y sont pas

représentés. Les ajouts d'intrants, extrants, ou activités suggérées par les professionnels sondés seront donc quantifiés par le biais d'indicateurs concernant les éléments manquants à ajouter. Ceci nous permettra d'améliorer les modèles et proposer des pistes d'amélioration pour que les cartographies soient les plus représentatives possibles et puissent à terme être utilisées par le partenaire industriel. Les indicateurs créés dans le cadre de cette évaluation sont présentés en Tableau 6.1.

Tableau 6.1 Indicateurs d'évaluation du modèle

Catégorie d'indicateur	Nom de l'indicateur	Calcul de l'indicateur	Éléments Quantifiés
Activités	Pourcentage d'acceptation des activités	Nombre d'activités validées Total activités	Part des activités représentatives de la réalité
	Nombre d'activités manquantes dans le modèle	Nombre d'activités manquantes	Nombre des activités significatives manquantes dans le modèle
Rôles	Pourcentage d'acceptation des rôles	Nombre d'activités associées au bon acteur Total des activités	Part des activités assignées à l'acteur correspondant
Intrants et extrants	Pourcentage d'acceptation des intrants et extrants	Nombre d'intrants et extrants validés Total des intrants et extrants	Part des documents réellement utilisés, similaires aux intrants/extrants du modèle
	Nombre d'intrants et extrants manquants dans le modèle	Nombre d'intrants et extrants manquants	Nombre d'intrants et d'extrants significatifs manquants dans le modèle

6.2.2 Méthode d'évaluation

Afin de procéder à l'évaluation des modèles proposés par le biais des critères explicités en soussection précédente, nous sollicitons des professionnels de la construction afin de les auditer. Il est à noter que ces trois professionnels avaient été audités précédemment pour constituer la proposition de modèle. Le profil des professionnels composant le panel des audités est décrit dans le Tableau 6.2. Pour des raisons de confidentialité, nous avons associé chaque professionnel à une lettre afin de les distinguer dans la suite de l'évaluation.

Tableau 6.2 Profil des professionnels audités pour l'évaluation du modèle

N°	Profession	Années d'expérience dans le domaine	Connaissance de l'ACV
A	Coordonnateur conception, conseiller environnement	>10	Élevée
В	Coordonnateur BIM - Innovation	4	Élevée
С	Gérant de projets Innovation	>10	Faible

Les professionnels audités viennent de départements différents et ont donc une expérience et des compétences différentes. Leurs domaines d'expertise s'entrecroisent, mais tous ne s'avèrent pas en mesure de contribuer à la validation de l'intégralité du modèle proposé. En effet, leurs domaines d'expertise correspondent à chaque fois à des phases du processus différent. Afin de prendre en compte les différences d'expérience et de connaissance de certains professionnels dans certains domaines précis, nous ne compterons pas les éléments pour lesquels les professionnels interrogés ne sont pas en mesure de répondre. Par exemple, un professionnel exerçant ou ayant exercé seulement dans la phase de construction ne sera audité que sur la phase de construction. Il est à noter que les professionnels interrogés ont, pour la plupart, des notions solides sur l'ACV. Un des professionnels audités connait peu cette méthode. Son expertise, moins poussée sur l'ACV, nous permettra d'évaluer si le modèle est compréhensible par une personne qui ne connait pas ce domaine d'expertise.

Les professionnels audités ont reçu, en amont de l'audit, un document comprenant une mise en contexte de notre projet de recherche, les objectifs visés, les processus accompagnés de leur légende, les diagrammes d'interrelation, ainsi que la description des activités, intrants et extrants et techniques relatifs aux processus. Étant donné que le partenaire industriel n'a pas encore d'expérience d'opérationnalisation ACV ni de processus d'affaires complets cartographiés, nous demandons aux professionnels de se remémorer les processus d'affaires pratiqués généralement et de considérer l'intégration des activités ACV tel que proposé dans leur travail au quotidien. Ces processus d'affaires concernent les activités et étapes suivies, les documents relatifs au projet de construction, ainsi que les parties impliquées lors de leurs activités professionnelles. L'audit réalisé auprès du partenaire industriel se base sur un questionnaire qui comprend les indicateurs explicités en sous-section précédente. Ces indicateurs nous permettent de comparer notre proposition de modèle à la réalité de l'industriel et de comprendre les modifications à apporter pour améliorer notre modèle. Le déroulé de l'audit réalisé est présenté en Figure 6.1.

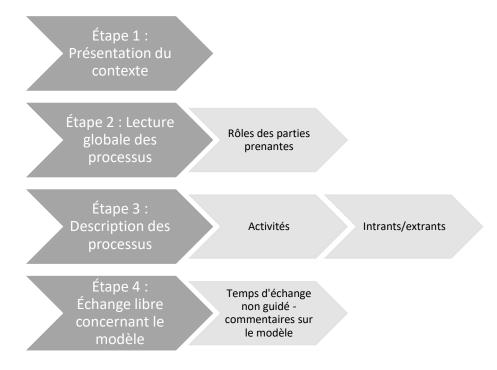


Figure 6.1 Déroulement de l'audit

Les entrevues semi-structurées se déroulent en deux phases majeures. La première phase est une reprise des cartographies, qui permet de mettre en lumière les éléments non représentatifs de la réalité ou jugés superflus par le professionnel interrogé. Après une explication du contexte, les rôles assignés à chaque activité sont passés en revue avec le professionnel, qui évalue si chaque

activité est bien assignée à l'acteur qui en a la charge dans la réalité. Par la suite, les activités, les intrants et extrants sont passés en revue avec le professionnel afin d'évaluer si certains ne sont pas représentatifs et/ou sont superflus. La seconde phase des entrevues consiste en une discussion libre, concernant les éléments significatifs manquants selon le professionnel interrogé ou toute autre suggestion concernant le modèle. Les éléments concernant les entrevues semi-structurées sont détaillés en Figure G. 1.

6.2.3 Résultats de l'évaluation par le partenaire

Cette sous-section présente les résultats de l'évaluation par le partenaire par le biais du calcul des indicateurs que nous avons défini dans le Tableau 6.1.

Tableau 6.3 Calcul des indicateurs pour les différents modèles proposés

	Pourcentage d'acceptation des activités	Nombre d'activités manquantes dans le modèle	Pourcentage d'acceptation des rôles	Pourcentage d'acceptation des intrants et extrants	Nombre d'intrants et extrants manquants dans le modèle
Modèle en pré-construction en conception soumission construction					
В	100%	0	100%	100%	0
С	90%	1	90%	100%	0
Total	95%	1	95%	100%	0
Modèle en pré-construction en gérance pour services et construction					
В	100%	0	100%	100%	0
С	91,7%	1	91,7%	100%	0
Total	95,9%	1	95,9%	100%	0

Tableau 6.3 Calcul des indicateurs pour les différents modèles proposés (suite et fin)

Modèle en pré-construction en conception construction					
A	100%	1	86,7%	96,7%	0
В	100%	2	96,7%	100%	0
Total	100%	3	91,7%	98,35%	0
Modèle en construction					
В	100%	1	100%	100%	0
С	93,1 %	1	96,6 %	96,6%	2
Total	96,55%	2	98,3%	98,3%	2

6.2.4 Interprétation des résultats

6.2.4.1 Pré-construction en conception soumission construction et en gérance pour services et construction

Du fait d'une contrainte temporelle liée au format de la maîtrise, peu de professionnels ont pu être interrogés sur ces modèles. Toutefois, les intervenants interrogés rapportent un bon niveau d'acceptation des deux processus de pré-construction, en conception-soumission-construction et en gérance pour services et construction. À ce jour, les coordonnateurs environnement n'existent pas chez le partenaire, mais leur mise en place va être progressive. La seule remarque d'un des deux intervenant concernant les activités était commune aux deux modèles. En effet, l'activité de proposition de mise en œuvre d'ACV et de recommandations de conception devrait, selon lui, être scindée en deux activités. La première activité, incombée au même acteur que précédemment, consisterait à proposer des recommandations sur la conception. Toutefois, la seconde activité consiste en la proposition de mettre en œuvre l'ACV. Cette proposition inclurait, en extrant, une démonstration sommaire de ce qu'est l'ACV et de comment l'analyse est conduite. La proposition

inclurait également toutes les spécifications nécessaires concernant le niveau de détail des modèles BIM requis afin d'être capable d'extraire les données ACV. Enfin, un guide des bonnes pratiques associées à la mise en œuvre de l'ACV du TQC accompagnerait la proposition. Cette activité serait préparée par un gérant de l'équipe innovation avec l'aide du coordonnateur environnement et d'un coordonnateur BIM.

En somme, ces processus reflètent bien, dans l'idée générale, le manque de marge de manœuvre de l'entrepreneur général dans les deux modes de réalisation évoqués en phase de pré-construction. Les intervenants contactés ont exprimé leur facilité à saisir ces enjeux et à comprendre les processus d'affaires impliqués, but recherché lors de la réalisation des cartographies.

6.2.4.2 Pré-construction en conception-construction

Dans l'ensemble, toutes les activités sont jugées pertinentes dans le cadre du modèle. Toutefois, les professionnels interrogés ont estimé qu'il manquait certaines activités. Deux des activités à ajouter concernent le détail au niveau de l'ACV en tant que telle. L'intervenant concerné proposait d'ajouter une activité de création du projet sur un logiciel ACV dans laquelle on rentre toutes les informations d'entrée du projet sur le logiciel, puis d'ajouter une activité de création d'une analyse de référence (baseline) pour l'ACV. Toutefois, aujourd'hui, ces activités sont relatives à l'expert ACV et non à l'entrepreneur général. Les processus d'affaires impliqués sont donc en dehors du champ de cette étude. La dernière activité manquante concerne l'ajout d'une activité de définition de la portée de l'étude ACV en fonction du devis. En effet, en fonction du label environnemental à atteindre qui est fixé par le donneur d'ouvrage, l'étendue de l'étude ACV est très variable. De plus, comme expliqué précédemment, la définition de la portée de l'étude ACV est primordiale. Cette activité serait incombée au gestionnaire de proposition ou au coordonnateur environnement en accord avec l'expert ACV. Elle serait ajoutée comme première activité du sous-processus d'évaluation des solutions de conception via l'étude ACV.

Les rôles sont, dans l'ensemble, validés avec un pourcentage d'acceptation moyen qui s'élève à 91,7%. Dans les projets récents des professionnels interrogés, l'utilisation de l'ACV était une utilisation exploratoire. De ce fait, d'après eux, le partage des rôles et responsabilités était souvent mal défini et la répartition des tâches entre gestionnaire de proposition, conception, coordonnateur environnement a pu se chevaucher. La différence notable qui pourrait être modifiée dans le modèle concerne le traitement de l'extraction des données d'intérêt de l'ACV. Il faudrait, en pratique une

personne pour faire des calculs intermédiaires, entre l'extraction des données BIM et les données à prendre en compte pour l'ACV. Cette personne devrait avoir des compétences en ACV et pourrait soit être l'expert ACV, soit un coordonnateur environnement, interne à l'entrepreneur général, avec des connaissances en ACV. En outre, la définition des spécifications, dépendamment des projets, n'est pas uniquement réalisée par le donneur d'ouvrage. Ce travail, comme de nombreuses autres activités représentées, est en réalité réalisé par plusieurs acteurs au sein du consortium. Une matrice de type RACI permettrait d'éclaircir ces points.

Concernant les intrants et extrants, les quelques écarts relevés concernent la terminologie utilisée et un manque de détail mineur sur certains libellés.

Dans l'ensemble, les professionnels interrogés ont validé la représentativité et l'applicabilité du modèle. Toutefois, un des professionnels interrogés, non familier avec le BPMN, regrette que le modèle soit un modèle de type linéaire. Selon son point de vue, la rétroaction n'est pas représentée visuellement, or elle est au cœur même du processus de conception en conception-construction. Toutefois, le modèle proposé, accompagné du détail concernant les intrants, extrants, activités et d'un texte, leur ont permis de bien comprendre les tenants et aboutissants de l'opérationnalisation ACV en conception construction.

6.2.4.3 Construction dans les trois modes de réalisation étudiés

Selon l'intervenant B, une activité d'importance majeure devrait être ajoutée au processus. Lors de l'ACV, tous les matériaux utilisés ne sont pas présents dans les bases de données et ne possèdent pas tous des fiches EPD. L'expert ACV ou le coordonnateur environnement doit donc remplir un formulaire dans le logiciel ACV utilisé afin d'ajouter ce produit dans les bases de données ou renseigner la composition du matériau à la main. Ce travail, fastidieux, est nécessaire afin de mener une ACV la plus représentative possible du TQC. L'intervenant C nous a indiqué que deux des activités n'étaient pas bien définies selon lui. Il s'agit davantage d'un souci de terminologie que d'une activité jugée superflue. En effet, selon lui, l'activité de vérification d'absence d'erreur dans le modèle BIM devrait être remplacée par la vérification que la maquette BIM TQC est bien complète. En outre, la dernière activité a été contestée, à savoir pourquoi on envoyait le rapport ACV au donneur d'ouvrage. Cette question revient à s'interroger sur l'acteur qui souhaite initier l'ACV, et a été traitée précédemment.

La création d'un sous-processus ACV dans le processus de construction a été suggérée par un des intervenants, afin d'apporter davantage de détail au calcul ACV en tant que tel. Dans le cadre de ce projet, le calcul ACV en tant que tel incombe à l'expert ACV, externe à l'entreprise partenaire. De ce fait, il est considéré comme en dehors de la portée du mémoire.

D'après l'intervenant B, l'intégration des modèles TQC dans le BIM n'est pas très courante dans les projets. Les plans TQC sont fréquemment annotés de manière manuscrite. Afin de s'assurer que la mise à jour dans le BIM soit réalisée, il faudrait que cette étape fasse partie des requis du client ou qu'elle fasse objet d'une demande contractuelle entre l'entrepreneur général et les sous-traitants. Dans la même lignée, le niveau d'information des modèles doit être suffisant afin de pouvoir extraire les données dans l'ACV. Une bonne définition du niveau d'information requis permettrait de faciliter l'opérationnalisation ACV. Enfin, l'intervenant C a indiqué qu'il manquait une activité de définition des requis contractuels avec les sous-traitants dans le processus, afin de s'assurer que ces derniers fournissent les données de transport des matériaux utilisés.

Concernant les intrants et extrants, l'intervenant C souhaiterait voir deux terminologies modifiées qui étaient erronées selon lui. Toutefois, il s'agit d'une question de vocabulaire. Dans l'ensemble, les intervenants ont jugé que les intrants et extrants étaient clairs.

Enfin, le niveau d'acceptation des rôles dans ce modèle est élevé. La seule modification concernerait l'activité finale, incombée soit au donneur d'ouvrage, soit à l'entrepreneur général, en fonction de l'acteur qui a exigé l'ACV. Cette partie a été traitée précédemment.

En somme, les deux intervenants interrogés sur ce modèle ont trouvé ce dernier très clair et compréhensible. L'un d'entre eux a indiqué que la cartographie lui avait permis de mieux comprendre les processus d'affaires engendrés en construction et trouvait la perspective de mise en œuvre de l'ACV facile à appliquer et prometteuse.

6.2.5 Discussion générale

L'ajout de quelques activités et la détermination de certains rôles en interne permettrait de rendre les modèles d'opérationnalisation de l'ACV davantage réalistes. Pour le modèle de conception-construction, la rétroaction n'est pas représentée à son niveau réel du fait de la codification BPMN. De plus, une question est revenue plusieurs fois dans les discussions autour de la phase de préconstruction en conception-construction. L'intervenant interrogé se questionnait sur la meilleure

manière de réaliser l'ACV en phase de conception, en se demandant s'il est plus judicieux de réaliser des ACV par poste de conception séparément (ex.: enveloppe extérieure, finitions intérieures), ou de modéliser l'ensemble de l'ouvrage et d'y ajouter au fur et à mesure les nouveaux éléments de conception. Toutefois, cette question reste en dehors de la portée du présent mémoire et n'a pas d'influence sur les modèles présentés. De plus, il semble que les concepteurs prennent davantage de place dans la sélection des matériaux en réalité que dans le modèle proposé en conception-construction. La cartographie ayant pour but de mettre en avant les activités réalisées par l'entrepreneur général, il semble correct de ne pas avoir davantage mis en avant le rôle des concepteurs. Néanmoins, il faut garder à l'esprit que ces derniers ont une part très importante dans les décisions de conception. Enfin, la cartographie est axée sur l'opérationnalisation de l'ACV, mais il faut également considérer les autres facteurs de décision concernant les choix de conception, notamment concernant le coût de réalisation, qui reste un des premiers facteurs de décision. Pour ce faire, on peut utiliser notament une analyse en coût global qui facilite la traduction économique de l'efficacité environnementale.

D'après les retours des professionnels, les modèles proposés sont applicables à l'entreprise partenaire. La forme utilisée permet une bonne compréhension globale, même par des intervenants peu familiers avec l'ACV. Toutefois, il faudrait dynamiser et adapter la présentation de ceux-ci afin de les rendre plus attractifs et faciles d'accès pour une présentation en entreprise. De plus, une enquête réalisée auprès de davantage de professionnels pourrait également permettre d'avoir un taux de fiabilité des indicateurs plus élevé. Toutefois, la contrainte temporelle liée à ce mémoire n'a pas permis d'étendre le panel des professionnels audités. Dans l'ensemble, le contenu et le réalisme des modèles ont été validés. Afin de déployer l'ACV dans les projets du partenaire, les modèles proposés constituent une base solide de compréhension des processus d'affaires auprès des professionnels concernés. Il semble toutefois pertinent de complémenter les modèles éventuellement avec une matrice RACI, ainsi qu'une liste des documents à préparer pour chaque acteur. L'ensemble pourrait alors constituer une boite à outils prête à utiliser, essentielle pour le déploiement de l'ACV chez le partenaire industriel.

CHAPITRE 7 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La mise en œuvre de l'Analyse du Cycle de Vie dans les projets de construction au Canada implique de repenser les processus d'affaires déjà en place. En outre, elle soulève la question de la place que peuvent prendre les différentes parties prenantes dans cette démarche en fonction du mode de réalisation de projet qui est impliqué. L'analyse de la littérature a mis en évidence l'absence de modèles d'opérationnalisation ACV au regard des modes de réalisation. L'état de l'art a également mis en évidence que la place de l'entrepreneur général dans les projets de construction a vocation à changer avec l'intérêt grandissant porté aux préoccupations environnementales et que ce positionnement ne fait pas consensus. En outre, la littérature soulève que les modes de réalisation les plus intégrés favoriseraient l'opérationnalisation ACV. Dans une démarche de mise en œuvre de l'ACV dans ses projets, l'entrepreneur général partenaire de ce projet souhaitait mieux comprendre son rayon d'action. Afin de répondre à ces questions, ce mémoire a présenté une méthodologie d'opérationnalisation ACV du point de vue de l'entrepreneur général pour les trois modes de réalisation les plus courants au Canada.

L'analyse de la littérature a mis en lumière les lacunes des différents modèles existants sur l'ACV et le manque de clarté quant aux rôles et responsabilités de chaque acteur impliqué, répondant ainsi aux deux premiers sous-objectifs spécifiques. La méthodologie de type DRM a permis d'élaborer une méthodologie adaptée aux besoins du partenaire industriel et qui soit scientifiquement rigoureuse. L'analyse de l'existant a permis d'établir les spécifications requises pour la proposition de modèle. La démarche et les besoins du partenaire industriel y ont été explicités. Ce chapitre a notamment mis en lumière la place qu'occupe l'entrepreneur général dans les trois modes de réalisation étudiés, ainsi que sa chronologie d'intervention à chaque phase du projet de construction. Les différentes manières d'aborder concrètement l'ACV dans l'entreprise, et de ce fait dans la proposition, ont également été exposées. Le modèle proposé permet de comprendre la répartition des rôles à la fois au sein de l'entreprise générale et également avec les acteurs externes.

La proposition de modèle, par le biais de cartographies BPMN, a permis de mettre en lumière les différences entre les modes de réalisation dans l'opérationnalisation de l'ACV. C'est cette proposition qui constitue la réponse au troisième sous-objectif spécifique. Cette dernière a montré que l'opérationnalisation de l'ACV pour étudier l'ouvrage tel que construit en phase de

construction est identique dans les trois modes de réalisation étudiés. Toutefois, la mise en œuvre de l'ACV en phase de pré-construction pour optimiser la conception de l'ouvrage est très différente entre les modes de réalisation étudiés. La conception construction offre bien plus de marge de manœuvre à l'entrepreneur général pour y prendre part que la gérance pour services et construction ou encore que la conception soumission construction. Le modèle a été élaboré sur la base d'entrevues avec différents professionnels de la construction. La diversité de leurs expériences a permis de croiser les points de vue et d'offrir un modèle le plus objectif possible avec un bon niveau de fiabilité.

Dans le cadre de la démarche DRM, le modèle a été évalué par des professionnels de la construction. Cette évaluation permet d'atteindre le quatrième et dernier sous-objectif spécifique. Le retour des professionnels a permis de rendre compte des modifications à apporter aux modèles afin de les rendre les plus réalistes possible. De plus, il a permis de souligner les bonnes pratiques à adopter afin de réussir la mise en application de la méthodologie. Bien que l'évaluation ait été réalisée auprès de trois professionnels, cette dernière pourrait être davantage représentative si nous avions eu la possibilité d'interroger davantage de professionnels. Une autre limite des propositions réside dans le fait que chaque projet de construction est unique. Bien que les modèles visent à illustrer le plus grand nombre de projets possible, chaque projet ne peut répondre exactement aux processus d'affaires modélisés. En outre, l'évaluation par les professionnels a permis de valider, dans l'ensemble, les modèles proposés. Les modèles pourront permettre de les accompagner dans leur démarche de mise en œuvre d'ACV dans leurs projets en les complétant avec des matrices de type RACI et listes de documents à fournir.

En somme, l'objectif principal de ce mémoire était de *développer une méthodologie* d'opérationnalisation d'ACV au regard des modes de réalisation, du point de vue de l'entrepreneur général. Comme expliqué précédemment, les différentes phases de la DRM ont permis de répondre aux sous-objectifs spécifiques. L'atteinte de ces derniers a permis de répondre à l'objectif principal, en proposant une méthodologie qui réponde aux critères d'une méthode selon Zellner. Ce mémoire a permis d'élaborer un modèle complet de processus d'opérationnalisation ACV en fonction de trois modes de réalisation.

D'un point de vue scientifique, la présente proposition de méthodologie constitue une réelle contribution, étant donné qu'un tel modèle n'avait, à notre connaissance, jamais été cartographié

auparavant. En outre, le présent mémoire constitue, à notre connaissance, un des seuls travaux de recherche qui lie rôle de l'entrepreneur général, le mode de réalisation, et la façon de mener concrètement une ACV. Ce mémoire présente quatre principales limitations, évoquées précédemment. Nous avons proposé des modèles de processus d'affaires pour seulement trois modes de réalisation. Toutefois, il existe d'autres modes de réalisation en construction qui sont utilisés. En outre, les modèles proposés sont uniques et standardisés et ont vocation à représenter des projets qui sont en réalité très variés. En effet, chaque projet de construction est unique et leurs paramètres peuvent être très différents, qu'ils soient relatif par exemple à leur envergure ou même au type d'ouvrage à réaliser. De plus, les modèles proposés sont influencés par l'expérience des intervenants interrogés et présentent de ce fait une certaine subjectivité, bien que les profils des intervenants aient été croisés pour limiter cette subjectivité. Enfin, la validation du modèle fait foi d'un niveau de fiabilité moyen puisque seules trois personnes ont pu être interrogées, notament par contrainte de temps liée au projet de maîtrise.

L'intérêt porté à l'aspect opérationnel de l'ACV dans ce projet pourrait permettre d'ouvrir la voie à d'autres travaux de recherche sur le sujet. De futurs projets de recherche permettraient notamment de mieux comprendre les rôles et responsabilités de chaque acteur d'un point de vue contractuel. Il serait également enrichissant d'élaborer une méthodologie dans le contexte de modes de réalisation intégrés. Toutefois, le manque d'exemple de projets IPD, projets encore exploratoires, semble être une barrière majeure à l'élaboration d'un tel modèle qui soit réaliste. De plus, un modèle explorant l'opérationnalisation ACV d'un point de vue englobant client, concepteurs et entrepreneurs généraux permettrait de compléter la méthodologie proposée. Enfin, une application réelle des modèles proposés dans ce mémoire ainsi que des retours d'expérience de mise en œuvre d'ACV permettraient de mieux analyser les enjeux de l'opérationnalisation ACV et d'améliorer le présent modèle, ou bien encore d'ouvrir la voie à de nouveaux sujets de recherche. D'un point de vue pratique, la méthodologie proposée pourrait servir de guide d'utilisation à plusieurs industriels de la construction afin d'accompagner la démarche d'adoption de l'ACV dans les pratiques courantes. En effet, la présente proposition peut permettre aux industriels de mieux comprendre les enjeux, possibilités et implications opérationnels de l'ACV. De ce fait, la méthodologie proposée pourrait conforter certains professionnels dans leur démarche de recours à l'ACV, en leur montrant que l'opérationnalisation de l'ACV est possible et accessible, contrairement à ce que la complexité de la littérature existant sur le sujet porte à croire. La présente proposition sera utilisée chez le partenaire industriel afin d'accompagner le déploiement de l'initiative ACV en interne, lorsque le projet d'ACV y sera suffisamment mature.

RÉFÉRENCES

- Ahn, Y. H., Jung, C. W., Suh, M., & Jeon, M. H. (2016). Integrated Construction Process for Green Building. *Procedia Engineering*, 145, 670-676. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.065
- Ali, A. K., & Badinelli, R. (2016). Novel Integration of Sustainable and Construction Decisions into the Design Bid Build Project Delivery Method Using BPMN. *Procedia Engineering*, 145, 164-171. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.038
- Antón, L., & Diaz, J. (2014). Integration of Life Cycle Assessment in a BIM Environment. *Procedia Engineering*, 85, 26-32. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.525
- Blessing, L., & Chakrabarti, A. (2009). DRM, a Design Research Methodology.
- Bourgault, M., & Perrier, N., Iordanova, I., Rankohi, S., Mathieu, D.,. (2021). Les modes de réalisation comme moyen d'orchestrer les projets de construction : concepts et exempes nationaux. Dans *Brunet, M., Romero-Torres, A. (dir.). La gestion de projets au Québec : des cas pour illustrer une expertise en croissance*. Les Éditions JFD.
- Bruce-Hyrkäs, T., Pasanen, P., & Castro, R. (2018). Overview of Whole Building Life-Cycle Assessment for Green Building Certification and Ecodesign through Industry Surveys and Interviews. *Procedia CIRP*, 69, 178-183. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.127
- Chodnekar, H., Yadav, P., & Chaturvedi, H. (2021). Review and Assessment of Factors Associated with Green Building Rating Systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 795, 012033. https://doi.org/10.1088/1755-1315/795/1/012033
- Darko, A., & Chan, A. P. C. (2016). Critical analysis of green building research trend in construction journals. *Habitat International*, *57*, 53-63. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.07.001
- Ebertshäuser, S., Graf, K., Both, P., Rexroth, K., Di Bari, R., & Horn, R. (2019). Sustainable building information modeling in the context of model-based integral planning. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323, 012113. https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012113
- Engebø, A., Klakegg, O., Lohne, J., & Lædre, O. (2020). A collaborative project delivery method for design of a high-performance building. *International Journal of Managing Projects in Business, ahead-of-print*. https://doi.org/10.1108/IJMPB-01-2020-0014
- Fischer, M. A., Reed, D., Khanzode, D. A., & Ashcraft, H. W. (2014). A Simple Framework for Integrated Project Delivery.
- Fritsch, A. (2020). Towards a Modeling Method for Business Process Oriented Organizational Life Cycle Assessment Proceedings of the 7th International Conference on ICT for Sustainability, Bristol, United Kingdom. https://doi.org/10.1145/3401335.3401360
- Glavinich, T. (2008). Contractor's Guide to Green Building Construction: Management, Project Delivery, Documentation, and Risk Reduction. Dans (p. i-xxiii).

- Gunhan, S. (2019a). Analyzing Sustainable Building Construction Project Delivery Practices: Builders' Perspective. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 24. https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000397
- Gunhan, S. (2019b). Developing Leadership Skills for a Dynamic Construction Industry.
- Holloway, S., & Parrish, K. (2013). The contractor's self-perceived role in sustainable construction: Survey results. 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013, 865-874.
- Hossain, M. U., Ng, S. T., Antwi-Afari, P., & Amor, B. (2020). Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *130*, 109948. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109948
- Kantola, M., & Saari, A. (2016). Project delivery systems for nZEB projects. *Facilities*, 34, 85-100. https://doi.org/10.1108/F-03-2014-0025
- Kotula, B., & Kamari, A. (2020). Development of a BIM-based LCA Tool to Support Sustainable Building Design during the Early Design Stage.
- Leoto, R. F., Lizarralde, G.,. (2019). Limits and opportunities of integrated design in sustainable buildings: the need for a more comprehensive project process, Université de Montréal].
- Li, X., Zhu, Y., & Zhang, Z. (2010). An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes. *Building and Environment*, 45, 766-775. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.010
- MacKenzie, Q. (2019). Results Follow Process: Leveraging the Integrated Design Process (IDP) to Fundamentally Change and Improve How We Design Infrastructure.
- Malmqvist, T., Glaumann, M., Scarpellini, S., Zabalza, I., Aranda, A., Llera, E., & Díaz, S. (2011). Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines. *Energy*, *36*(4), 1900-1907. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.026
- Mollaoglu-Korkmaz, S., Swarup, L., & Riley, D. (2013). Delivering Sustainable, High-Performance Buildings: Influence of Project Delivery Methods on Integration and Project Outcomes. *Journal of Management in Engineering*, 29(1), 71-78. https://doi.org/doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000114
- Mosser, J. (2020). *Cartographie 4.0 pour la transformation numérique des processus*, (Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal). Tiré de https://publications.polymtl.ca/5379/].
- Orsi, A., Pellicer, E., & Guillen, I. (2017). OPTIMIZING GREEN-BUILDING PROJECT DELIVERY: COMPARATIVE ANALYSIS OF DESIGN-BID-BUILD AND DESIGN-BUILD DELIVERY METHODS USING CASE STUDIES. *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*, 4. https://doi.org/10.14455/ISEC.res.2017.202
- Panquet, Q. (2020). Méthode d'implantation du pilotage de projet par la valeur acquise en entreprise].
- Raouf, A. M., & Al-Ghamdi, S. G. (2019). Effectiveness of Project Delivery Systems in Executing Green Buildings. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(10), 03119005. https://doi.org/doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001688

- Riley, D., Pexton, K., & Director, S. (2003). Procurement of sustainable construction services in the United States: The contractor's role in green buildings. *United Nations Program on the Environment (UNEP) Industry and Environment*, 26.
- Santana, F., Nagata, D., Cursino, M., Barberato, C., & Leal, S. (2016). *Using BPMN-based Business Processes in Requirements Engineering: The Case Study of Sustainable Design.*
- Shadram, F., Johansson, T. D., Lu, W., Schade, J., & Olofsson, T. (2016). An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design. *Energy and Buildings*, 128, 592-604. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.007
- Silva, V., & Barros, N. (2018). Contribuição da modelagem BIM para facilitar o processo de ACV de edificações completas. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, *13*, 19. https://doi.org/10.11606/gtp.v13i2.142139
- Song, L., Mohamed, Y., & Abourizk, S. (2009). Early Contractor Involvement in Design and Its Impact on Construction Schedule Performance. *Journal of Management in Engineering*, 25, 12-20. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2009)25:1(12)
- Swarup, L., Korkmaz, S., & Riley, D. (2011). Project Delivery Metrics for Sustainable, High-Performance Buildings. *Journal of Construction Engineering and Management*, *137*, 1043-1051. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000379
- Tafazzoli, M., Kermanshachi, S., Shrestha, K., & Kisi, K. (2019). Investigating the Relative Importance Barriers to Sustainable Construction Related to Owners, Contractors, and Government.
- Touran, A., Gransberg, D., Molenaar, K., & Ghavamifar, K. (2010). Selection of Project Delivery Method in Transit: Drivers and Objectives. *Journal of Management in Engineering J MANAGE ENG*, 27. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000027
- Tzortzopoulos, P., & Cooper, R. (2007). Design Management from a Contractor's Perspective: The Need for Clarity. *Architectural Engineering and Design Management*, *3*, 17-28. https://doi.org/10.1080/17452007.2007.9684626
- Zainon, N., Lun, G., Zaid, N., Myeda, N., & Aziz, N. (2019). Developing a framework for life cycle assessment of construction materials through building information modelling (BIM). *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, 10(7), 253-276.
- Zellner, G. (2011). A structured evaluation of business process improvement approaches. *Business Process Management Journal*, 17, 203-237. https://doi.org/10.1108/14637151111122329

ANNEXE A DÉTAIL SUR LE PROCESSUS DE PRÉ-CONSTRUCTION EN CONCEPTION SOUMISSION CONSTRUCTION

Tableau A. 1 Activités, intrants, extrants du processus de pré-construction en conception soumission construction

N° activité	Activité	Lib.	Intrant	Lib.	Extrant	Technique
A1	Constituer l'équipe de proposition	Ib1	Plans pour construction et devis de performance	Eb1	Liste du personnel sélectionné pour répondre à la proposition	S/O
A2	Étudier le devis de performance	Eb1	Liste du personnel sélectionné pour répondre à la proposition Plans pour construction et devis de performance	Eb2	Plan d'action pour la réponse de proposition	S/O
A3	Conseiller la proposition si problème majeur dans la conception	Eb2	Plan d'action pour la réponse de proposition Plans pour construction et devis de performance	Eb3	Suggestions concernant la conception si problème majeur de conception	S/O

Tableau A. 1 Activités, intrants, extrants du processus de pré-construction en conception soumission construction (suite)

A4	Estimer les quantités et coûts liés au projet, conseiller une alternative si elle représente une économie majeure	Eb2 Ib1	Plan d'action pour la réponse de proposition Plans pour construction et devis de performance	Eb4 Eb5	Estimé des coûts et quantités pour l'ouvrage Suggestions d'alternatives de conception si une économie majeure est à réaliser	Logiciel d'estimation
A5	Proposer un volet ACV dans le plan de gestion environnementale	Eb2	Plan d'action pour la réponse de proposition Plans pour construction et devis de performance	Eb6	Rédaction d'une proposition d'ACV adaptée au projet	S/O
A6	Rédiger la proposition	Eb3 Eb4 Eb5 Eb6	Suggestions concernant la conception si problème majeur de conception Estimé des coûts et quantités pour l'ouvrage Suggestions d'alternatives de conception si une économie majeure est à réaliser Rédaction d'une proposition d'ACV adaptée au projet	Еь7	Ébauche de document de proposition rédigée, contenant tous les éléments (recommandations de conception, coûts, proposition d'ACV) à discuter en comité	S/O

Tableau A. 1 Activités, intrants, extrants du processus de pré-construction en conception soumission construction (suite et fin)

A7	Fermer la soumission (prix) et la proposition	Eb7	Ébauche de document de proposition rédigée, contenant tous les éléments (recommandations de conception, coûts, proposition d'ACV) à discuter en comité	Eb8	Éléments fixés (prix, suggestions de conception pertinentes)	S/O
A8	Finaliser la rédaction	Eb8	Éléments fixés (prix, suggestions de conception pertinentes) fixés	Eb9	Document de réponse de proposition définitif	S/O
A9	Évaluer la proposition	Eb9	Document de réponse de proposition définitif	Eb10 Eb11	Réponse négative à la proposition Réponse positive à la proposition et octroi du projet	S/O
A10	Sélectionner les sous-traitants	Eb11 Ib1 Eb9	Réponse positive à la proposition et octroi du projet Plans pour construction et devis de performance Document de réponse de proposition définitif	Eb12	Liste des sous- traitants sélectionnés pour la construction	Consultation du registre des retours d'expérience pour la sélection (privilégier si possible les sous-traitants coopératifs vis-à-vis de l'ACV)

ANNEXE B DÉTAIL SUR LE PROCESSUS DE PRÉ-CONSTRUCTION EN GÉRANCE POUR SERVICES ET CONSTRUCTION

Tableau B. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en gérance pour services et construction

N° activité	Activité	Lib.	Intrant	Lib.	Extrant	Technique
B1	Constituer l'équipe de proposition	Id1	Plans pour construction et devis de performance et devis de service	Ed1	Liste du personnel sélectionné pour répondre à la proposition	S/O
B2	Étudier le devis de performance	Ed1 Id1	Liste du personnel sélectionné pour répondre à la proposition Plans pour construction et devis de performance et devis de service	Ed2	Plan d'action pour la réponse de proposition	S/O
В3	Conseiller la proposition, proposer des recommandations sur la conception	Ed2	Plan d'action pour la réponse de proposition Plans pour construction et devis de performance et devis de service	Ed3	Suggestions concernant la conception	S/O

Tableau B. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en gérance pour services et construction (suite)

B4	Estimer les quantités et coûts si demandé, conseiller une alternative si elle représente une économie majeure	Ed2 Id1	Plan d'action pour la réponse de proposition Plans pour construction et devis de performance et devis de service	Ed4 Ed5	Estimé des coûts et quantités pour l'ouvrage si demandé dans le devis Suggestions d'alternatives de conception si une économie majeure est à réaliser	Logiciel d'estimation
B5	Proposer des recommandations sur la conception ainsi qu'un volet ACV dans le plan de gestion environnementale	Ed2 Id1	Plan d'action pour la réponse de proposition Plans pour construction et devis de performance et devis de service	Ed6	Rédaction d'une proposition d'ACV adaptée au projet	S/O

Tableau B. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en gérance pour services et construction (suite)

B6	Rédiger la proposition	Ed3 Ed4 Ed5 Ed6	Suggestions concernant la conception si problème majeur de conception Estimé des coûts et quantités pour l'ouvrage si demandé dans le devis Suggestions d'alternatives de conception si une économie majeure est à réaliser Rédaction d'une proposition d'ACV adaptée au projet	Ed7	Ébauche de document de proposition rédigée, contenant tous les éléments (recommandations de conception, coûts, proposition d'ACV) à discuter en comité	S/O
В7	Fermer la proposition	Ed7	Ébauche de document de proposition rédigée, contenant tous les éléments (recommandations de conception, coûts, proposition d'ACV) à discuter en comité	Ed8	Éléments fixés (prix, suggestions de conception pertinentes) fixés	S/O
B8	Finaliser la rédaction de la proposition	Ed8	Éléments fixés (prix, suggestions de conception pertinentes) fixés	Ed9	Document de réponse de proposition définitif contenant toutes les recommandations	S/O

Tableau B. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en gérance pour services et construction (suite)

В9	Évaluer la proposition et les recommandations	Ed9	Document de réponse de proposition définitif contenant toutes les recommandations	Ed10 Ed11	Réponse négative à la proposition Réponse positive à la proposition, avec rétroaction sur les recommandations, et octroi du projet	S/O
B10	Prendre en compte la rétroaction sur les recommandations	Ed11 Id1 Ed9	Réponse positive à la proposition, avec rétroaction sur les recommandations, et octroi du projet Plans pour construction et devis de performance et devis de service Document de réponse de proposition définitive contenant toutes les recommandations	Ed12	Devis et livrables pour construction mis à jour	S/O
B11	Présélectionner les sous-traitants et partenaires d'affaires	Ed12 Id1	Plans pour construction et devis de performance et devis de service Devis et livrables pour construction mis à jour	Ed13	Liste de présélection des sous-traitants et partenaires d'affaires suggérés sur le projet	Consultation du registre des retours d'expérience pour la sélection (privilégier si possible les sous-traitants coopératifs vis-à-vis de l'ACV)

Tableau B. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en gérance pour services et construction (suite et fin)

B12	Exercer le droit de regard sur la liste	Ed13	Liste de présélection des sous-	Ed14	Liste finale	des	S/O
	des sous-traitants présélectionnés		traitants et partenaires d'affaires		sous-traitants	pour	
			suggérés sur le projet		construction		

ANNEXE C DÉTAIL SUR LE PROCESSUS DE PRÉ-CONSTRUCTION EN CONCEPTION CONSTRUCTION

Tableau C. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en conception-construction

N° activité	Activité	Lib.	Intrant	Lib.	Extrant	Technique
C1	Définir les spécifications et émettre la proposition	Ii1	Concepts préliminaires et plans préliminaires du projet à venir	Ee1	Dossier de proposition contenant les spécifications, les fiches d'espaces, et tous les éléments contractuels de l'appel d'offres	S/O
C2	Émettre des recommandations et fournir des plans	Ee1	Dossier de proposition contenant les spécifications, les fiches d'espaces, et tous les éléments contractuels de l'appel d'offres	Ee2	Plans, devis et recommandations de conception provisoires	Utilisation de logiciel de modélisation (ex. : Revit)
C3	Vérifier les éléments de conception et proposer des alternatives	Ee2	Plans, devis et recommandations provisoires	Ee3 Ee4	Éléments validés ou refusés par les gestionnaires de conception et coordonnateurs environnement des plans, devis et recommandations provisoires Suggestions de conception des gestionnaires de conception et coordonnateurs environnement	S/O

Tableau C. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en conception-construction (suite)

C4	Évaluer les solutions en termes de cycle de vie, constructibilité, disponibilité	Ee2	Plans, devis et recommandations provisoires	Ee5 Ee6	Éléments validés ou refusés par l'équipe de projet des plans, devis et recommandations provisoires Suggestions de l'équipe de projet concernant notamment la faisabilité de la solution et de la disponibilité des matériaux	S/O
C5	Sous-processus d'évaluation des solutions de conception par étude ACV	Ee3 Ee4 Ee5 Ee6	Éléments validés ou refusés par les gestionnaires de conception et coordonnateurs environnement des plans, devis et recommandations provisoires Suggestions de conception des gestionnaires de conception et coordonnateurs environnement Éléments validés ou refusés par l'équipe de projet des plans, devis et recommandations provisoires Suggestions de l'équipe de projet concernant notamment la faisabilité de la solution et de la disponibilité des matériaux	Ea8	Interprétation des résultats de l'ACV sur le(s) produit(s) étudiés, agrégés sous un rapport compréhensible par des personnes non expertes en ACV	S/O

Tableau C. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en conception-construction (suite)

C6	Estimer les coûts, élaborer une étude comparative et émettre des recommandations	Ee3 Ee4 Ee5 Ee6	Éléments validés ou refusés par les gestionnaires de conception et coordonnateurs environnement des plans, devis et recommandations provisoires Suggestions de conception des gestionnaires de conception et coordonnateurs environnement Éléments validés ou refusés par l'équipe de projet des plans, devis et recommandations provisoires Suggestions de l'équipe de projet concernant notamment la faisabilité de la solution et de la disponibilité des matériaux	Ee8	Estimation des éléments de conception et comparaison des différentes solutions proposées	Logiciel d'estimation
C7	Évaluer les propositions au regard des spécifications et de l'étude ACV et proposer des alternatives	Ea8	Interprétation des résultats de l'ACV sur le(s) produit(s) étudiés, agrégés sous un rapport compréhensible par des personnes non expertes en ACV	Ee9	Alternatives de conception et recommandations agrégées provenant de l'étude ACV, des équipes de projet, des coordonnateurs environnement et conception	S/O

Tableau C. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en conception-construction (suite)

C8	Rassembler les recommandations et les spécifications concernant les choix de conception	Ee9 Ee8 Ee5 Ee6 Ee3 Ee4	Alternatives de conception et recommandations agrégées provenant de l'étude ACV, des équipes de projet, des coordonnateurs environnement et conception Estimation des éléments de conception et comparaison des différentes solutions proposées Éléments validés ou refusés par l'équipe de projet des plans, devis et recommandations provisoires Suggestions de l'équipe de projet concernant notamment la faisabilité de la solution et de la disponibilité des matériaux Éléments validés ou refusés par les gestionnaires de conception et coordonnateurs environnement des plans, devis et recommandations provisoires Suggestions de conception des gestionnaires de conception et coordonnateurs environnement	Ee10	Rapport présentant les recommandations des différents partis pour la revue de conception	S/O
C9	Émettre des décisions concernant les choix de conception lors des revues de conception	Ee10	Rapport présentant les recommandations des différents partis pour la revue de conception	Ee11	Liste des éléments de conception modifiés	S/O

Tableau C. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en conception-construction (suite)

C10	Mettre à jour les éléments de conception	Ee11	Liste des éléments de conception modifiés	Ee12	Maquette 3D, plans et devis modifiés selon la liste des éléments modifiés	Utilisation de logiciel de modélisation (ex. : Revit)
C11	Constituer la proposition avec les plans et devis	Ee12	Maquette 3D, plans et devis modifiés selon la liste des éléments modifiés	Ee13	Document de proposition pour répondre à l'appel d'offres du donneur d'ouvrage	S/O
C12	Évaluer la proposition	Ee13	Document de proposition pour répondre à l'appel d'offres du donneur d'ouvrage	Ee14 Ee15	Contrat octroyé au consortium, recommandations et spécifications à jour OU Contrat non octroyé	S/O
C13	Étudier les recommandations du donneur d'ouvrage et spécifications à jour	Ee14	Contrat octroyé au consortium, recommandations et spécifications à jour	Ee16	Liste des modifications à apporter pour les concepteurs	S/O
C14	Mettre à jour la conception et fournir les nouvelles recommandations	Ee16	Liste des modifications à apporter pour les concepteurs	Ee17	Nouvelles maquettes 3D, plans et devis révisés, recommandations du concepteur	Utilisation de logiciel de modélisation (ex. : Revit)

Tableau C. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en conception-construction (suite)

C15	Fournir une rétroaction sur l'estimation	Ee17	Nouvelles maquettes 3D, plans et devis révisés, recommandations du concepteur	Ee18	Estimation des nouveaux éléments, comparaison des différentes solutions de conception sur une base budgétaire	Logiciel d'estimation
C16	Fournir une rétroaction sur la faisabilité, disponibilité, constructibilité	Ee17	Nouvelles maquettes 3D, plans et devis révisés, recommandations du concepteur	Ee19 Ee20	Éléments validés ou refusés par l'équipe de projet des nouveaux plans, devis et recommandations Suggestions de l'équipe de projet concernant notamment la faisabilité de la solution et de la disponibilité des matériaux	S/O
C17	Fournir une rétroaction sur la conception	Ee17	Nouvelles maquettes 3D, plans et devis révisés, recommandations du concepteur	Ee21 Ee22	Éléments validés ou refusés par les gestionnaires de conception et coordonnateurs environnement des nouveaux plans, devis et recommandations provisoires Nouvelles suggestions de conception des gestionnaires de conception et coordonnateurs environnement	S/O Utilisation de logiciel de modélisation (ex. : Revit)

Tableau C. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en conception-construction (suite)

C18	Sous-processus d'évaluation via ACV	Ee19 Ee20 Ee21 Ee22	Éléments validés ou refusés par l'équipe de projet des nouveaux plans, devis et recommandations Suggestions de l'équipe de projet concernant notamment la faisabilité de la solution et de la disponibilité des matériaux Éléments validés ou refusés par les gestionnaires de conception et coordonnateurs environnement des nouveaux plans, devis et recommandations provisoires Nouvelles suggestions de conception des gestionnaires de conception et coordonnateurs environnement	Ee23, Similaire à Ea8	Rapport ACV des nouvelles solutions envisagées	S/O
C19	Rassembler les rétroactions sur les choix de conception	Ee23 Ee18	Rapport ACV des nouvelles solutions envisagées Estimation des nouveaux éléments, comparaison des différentes solutions de conception sur une base budgétaire	Ee24	Document avec les informations des différents partis agrégées pour la revue de conception en rétroaction	S/O
C20	Prendre les décisions concernant les choix de conception lors des revues de conception	Ee24	Document avec les informations des différents partis agrégées pour la revue de conception en rétroaction	Ee25	Liste des éléments de conception modifiés pour les plans pour construction	Lors des revues de conception

Tableau C. 1 Activités, intrants et extrants du processus de pré-construction en conception-construction (suite et fin)

C21	Fournir les plans pour	Ee25	Liste des éléments de	Ee26	Plans pour construction	Utilisation de logiciel de
	construction		conception modifiés pour les		modifiés et à jour	modélisation (ex. : Revit)
			plans de construction			
C22	Valider la conception et les plans pour construction	Ee26	Plans pour construction modifiés et à jour	Ee27	Plans pour construction signés et gelés	S/O

ANNEXE D DÉTAIL SUR LE PROCESSUS DE CONSTRUCTION

Tableau D. 1 Activités, intrants et extrants du processus de construction

N° activité	Activité	Lib.	Intrant	Lib.	Extrant	Technique
D1	Préparer la liste des données de l'inventaire ACV spécifique au site visé, à fournir par l'équipe de construction	II	Inventaire des besoins de données ACV	E1	Demande de données des opérations	Méthodologie ACV
D2	Préparer un plan d'activités pour la récupération des données ACV, avec répartition des responsabilités, échéancier global et détail des activités	I2, E1	Demande de données des opérations Liste des exigences environnementales issues de la proposition	E2	Plan d'action pour l'ACV spécifique au site visé, matrice de responsabilité, échéancier global et détail des activités pour récupérer les données	Logiciel de gestion ex : MS Project, Primavera
D3	Assurer un suivi des quantités de matériaux sur le chantier	E2	Plan d'action pour l'ACV spécifique au site visé, matrice de responsabilité, échéancier global et détail des activités pour récupérer les données	Е3	Liste de données matérielles des opérations (livraison des matériaux, quantités de matériaux, et données de gestion des déchets)	Logiciel de documentation ex : Procore

Tableau D. 1 Activités, intrants et extrants du processus de construction (suite)

D4	Planifier les activités liées à la récupération des données ACV en les intégrant dans l'échéancier de travaux	E2	Plan d'action pour l'ACV spécifique au site visé, matrice de responsabilité, échéancier global et détail des activités pour récupérer les données	E4	Échéancier de travaux complétés et liste des actions à mener pour la récupération des données ACV sur site	Logiciel de gestion ex : MS Project, Primavera
D5	Mettre en place les installations particulières liées aux services temporaires pour l'ACV	E4	Échéancier de travaux complétés et liste des actions à mener pour la récupération des données ACV sur site	E5	Installations particulières réalisées	Plans de site annotés manuellement et hébergés dans une plateforme documentaire accessible à tous
D6	Récupérer les données énergétiques des opérations sur site	E4, E5	Échéancier de travaux complétés et liste des actions à mener pour la récupération des données ACV sur site Installations particulières réalisées	E6	Données énergétiques des opérations sur site (consommation d'eau)	Relevés sur Excel ou dans une plateforme de bases de données, qui peut être reliée au BIM

Tableau D. 1 Activités, intrants et extrants du processus de construction (suite)

D7	Récupérer les données énergétiques des opérations sur facturation	E4	Échéancier de travaux complétés et liste des actions à mener pour la récupération des données ACV sur site	E7	Données énergétiques des opérations via facturations	Logiciel de documentation ex : Procore Ou plateforme de bases de données, qui peut être reliée au BIM
D8	Récupérer les données du transport du personnel	E4	Échéancier de travaux complétés et liste des actions à mener pour la récupération des données ACV sur site	E8	Données du transport du personnel relevées sur site (moyen de transport utilisé, nombre de personnes sur site)	Relevés sur Excel Ou plateforme de bases de données, qui peut être reliée au BIM
D9	Agréger les données dans les rapports environnementaux des opérations	E6, E7, E8, E14	Données énergétiques des opérations via facturations Données du transport du personnel relevées sur site Données énergétiques des opérations sur site (consommation d'eau) Données du transport des matériaux	E9	Liste des données collectées par le gérant agrégées sous un rapport environnemental	Logiciel de documentation ex : Procore

Tableau D. 1 Activités, intrants et extrants du processus de construction (suite)

D10	Collecter et réviser les données	E9, E3	Liste des données collectées par le gérant agrégées sous un rapport environnemental Liste de données matérielles des opérations (livraison matériaux et gestion des déchets)	E10	Liste des données collectées et validées	Logiciel de documentation ex : Procore
D11	Rédiger un rapport pour l'ACV contenant les données opérationnelles	E10	Listes des données collectées et validées	E11	Rapport contenant les données validées agrégées	S/O
D12	Commander les matériaux nécessaires	13	Liste des fiches techniques concordant avec les exigences du devis	E13	Bons de commande des matériaux	Logiciel de documentation ex : Procore
D13	Estimer les distances de transport des matériaux, ou collecter ces données si disponibles par les fournisseurs et transporteurs	I3, E13	Bons de commande des matériaux Liste des fiches techniques	E14	Données de transport des matériaux (estimées ou calculées sur la base des bons de commande, ou fournies par les fournisseurs et transporteurs)	Logiciel de documentation et de localisation Ex.: Procore (documentation), ArcGis (localisation)

Tableau D. 1 Activités, intrants et extrants du processus de construction (suite)

D14	Exécuter les travaux	E13	Bons de commande des matériaux	E15	Réception des matériaux et travaux exécutés	S/O
D15	Émettre les livrables (TQC, fiches techniques des matériaux, etc.)	E15	Travaux exécutés	E16	Livrables de l'ouvrage TQC	Logiciel de documentation et/ou de modélisation Ex. : Procore, Revit
D16	Réviser les livrables finaux	E16	Livrables de l'ouvrage TQC	E17	Livrables finaux validés envoyés	S/O
D17	Mettre à jour le registre des retours d'expérience et l'évaluation des partenaires	I4, E17	Travaux terminés, Livrables finaux validés par le donneur d'ouvrage	E18	Registre des retours d'expérience à jour et évaluation du partenaire transmise	Plateforme des retours d'expérience et de l'évaluation des partenaires en interne
D18	Demander l'extraction des données pertinentes des livrables pour l'ACV	E17, E2	Livrables finaux validés par le donneur d'ouvrage Plan d'action pour l'ACV spécifique au site visé	E19	Demande d'extraction des données	Template Excel avec type de data, explications, valeur des données à remplir

Tableau D. 1 Activités, intrants et extrants du processus de construction (suite)

D19	Vérifier l'absence de conflits dans le BIM	E19	Demande d'extraction des données	E20	Données sans conflit à extraire	Vérification sur BIM
D20	Extraire les données pertinentes pour l'ACV via le logiciel de modélisation et l'envoyer	E20	Données sans conflit à extraire	E21	Dossier contenant les données extraites envoyé au coordonnateur environnement	Extraction logicielle (BIM) Ex.: Revit
D21	Vérifier que le rapport de données est complet pour l'expert ACV	E21, E11, E2	Dossier contenant les données BIM extraites Rapport contenant les données validées agrégées pour l'ACV Plan d'action pour l'ACV spécifique au site visé	E22	Rapport de données complet validé	S/O
D22	Envoyer le rapport de données complet pour l'expertise ACV	E22	Rapport de données complet validé	E23	Rapport complet contenant les données pour l'ACV validé transmis	S/O

Tableau D. 1 Activités, intrants et extrants du processus de construction (suite et fin)

D23	Mener l'analyse et produire le rapport ACV	E23	Rapport complet contenant les données pour l'ACV validé transmis	E24	Analyse ACV terminée et rapport ACV de l'ouvrage TQC rédigé	Méthodologie ACV
D24	Envoyer le rapport ACV de l'ouvrage TQC	E24	Analyse ACV terminée et rapport ACV de l'ouvrage TQC rédigé	E25	Rapport ACV de l'ouvrage TQC transmis à l'entrepreneur général	S/O
D25	Réviser le rapport ACV final de l'ouvrage TQC pour livraison	E25	Rapport ACV de l'ouvrage TQC transmis à l'entrepreneur général	E26	Rapport ACV de l'ouvrage TQC validé signé scellé	S/O
D26	Mettre à jour le registre des retours d'expérience	E26	Rapport ACV de l'ouvrage TQC signé, scellé, envoyé	E27	Registre des retours d'expérience à jour et évaluation du partenaire transmise	Plateforme des retours d'expérience et de l'évaluation des partenaires en interne

ANNEXE E DÉTAIL SUR LE SOUS-PROCESSUS D'ÉVALUATION DES SOLUTIONS DE CONCEPTION PAR ÉTUDE ACV

Tableau E. 1 Activités, intrants et extrants du sous-processus d'évaluation des solutions de conception par étude ACV

N° activité	Activité	Lib.	Intrant	Lib.	Extrant	Technique
E1	Déterminer les éléments pour lesquels on souhaite une ACV	Ee3 Ee4 Ee5 Ee6	Éléments validés ou refusés par les gestionnaires de conception et coordonnateurs environnement des plans, devis et recommandations provisoires Suggestions de conception des gestionnaires de conception et coordonnateurs environnement Éléments validés ou refusés par l'équipe de projet des plans, devis et recommandations provisoires Suggestions de l'équipe de projet concernant notamment la faisabilité de la solution et de la disponibilité des matériaux	Ea1	Définition des produits ou groupes de produits de la conception dont on souhaite faire l'ACV (Calcul pour un produit ou groupe de produits et/ou comparaison de plusieurs produits)	S/O

Tableau E. 1 Activités, intrants et extrants du sous-processus d'évaluation des solutions de conception par étude ACV (suite)

E2	Déterminer la portée de l'étude, préparer l'analyse d'inventaire	Ea1	Définition des produits ou groupes de produits de la conception dont on souhaite faire l'ACV (Calcul pour un produit ou groupe de produits et/ou comparaison de plusieurs produits)	Ea2	Définition de la méthode à utiliser, des objectifs de(s) ACV, réflexion sur l'analyse d'inventaire	Méthodologie ACV
E3	Émettre la liste des données à fournir	Ea2	Définition de la méthode à utiliser, des objectifs de(s) ACV, réflexion sur l'analyse d'inventaire	Ea3	Requête des données de l'inventaire ACV à fournir par l'entrepreneur général pour compléter l'inventaire ACV	Méthodologie ACV
E4	Préparer les données ne nécessitant pas une extraction via le BIM	Ea3	Requête des données de l'inventaire ACV à fournir par l'entrepreneur général pour compléter l'inventaire ACV	Ea4	Données pour l'inventaire ACV ne nécessitant pas d'extraction BIM	S/O

Tableau E. 1 Activités, intrants et extrants du sous-processus d'évaluation des solutions de conception par étude ACV (suite et fin)

E5	Vérifier l'absence de conflits et extraire les données d'intérêt du BIM	Ea3	Liste de requête des données de l'inventaire ACV à fournir par l'entrepreneur général pour mener l'ACV	Ea5	Données pour l'inventaire ACV extraites du BIM	Extraction logicielle (BIM) Ex. :Revit
E6	Réaliser l'analyse d'inventaire avec les données fournies	Ea4 Ea5	Données pour l'inventaire ACV ne nécessitant pas d'extraction BIM Données pour l'inventaire ACV extraites du BIM	Ea6	Analyse de l'inventaire ACV terminée, prêt pour le calcul	Méthodologie ACV
E7	Calcul de l'impact de performance environnementale	Ea6	Analyse de l'inventaire ACV terminée, prêt pour le calcul	Ea7	Résultats des calculs d'impact de performance environnementale	Méthodologie ACV
E8	Analyser les résultats et produire un rapport d'ACV d'aide à la prise de décision	Ea7	Résultats des calculs d'impact de performance environnementale	Ea8	Interprétation des résultats de l'ACV sur le(s) produit(s) étudiés, agrégés sous un rapport compréhensible par des personnes non expertes en ACV	Méthodologie ACV

ANNEXE F DÉTAIL SUR LE SOUS-PROCESSUS DE VÉRIFICATION DES FICHES TECHNIQUES

Tableau F. 1 Activités, intrants et extrants du sous-processus de vérification des fiches techniques

N° activité	Activité	Lib.	Intrant	Lib.	Extrant	Technique
F1	Soumettre les fiches techniques des produits ou matériaux	Iv1	Devis des concepteurs	Ev1	Fiches techniques des produits et matériaux à commander	Logiciel de documentation Ex. : Procore Ou système de gestion des exigences
F2	Vérifier sommairement la conformité des fiches techniques au regard des devis	Ev1	Fiches techniques des produits et matériaux à commander	Ev2	Fiches techniques des produits et matériaux conformes selon le gérant de projet	Logiciel de documentation ex : Procore Ou système de gestion des exigences
F3	Vérifier la conformité des fiches techniques au regard des devis	Ev2	Fiches techniques des produits et matériaux conformes selon le gérant de projet	13	Liste des fiches techniques concordant avec les exigences du devis (validées par les concepteurs)	Logiciel de documentation ex : Procore Ou système de gestion des exigences

ANNEXE G DESCRIPTION DES ENTREVUES SEMI-STRUCTURÉES POUR LA VALIDATION DES MODÈLES

En amont des entrevues semi-structurées, nous avons préparé un document PDF propre à chaque professionnel à interroger pour la validation des modèles. Ce PDF contenait en premier lieu un résumé du mémoire de recherche, afin que les professionnels puissent comprendre la démarche de notre projet et comment s'y inscrit la validation des modèles. Ensuite, nous présentions les différents indicateurs d'acceptation des processus que nous souhaitions quantifier afin d'expliquer aux professionnels comment allaient être traitées les donnes issues de notre entrevue. Le document PDF contenait ensuite les modèles que l'on souhaitait évaluer avec les professionnels, accompagnés des listes d'intrants, extrants et techniques associés à chacun des modèles. De plus, nous avions fourni les diagrammes d'interrelations pour compléter leur compréhension des modèles. La partie du document PDF contenant les modèles était la partie spécifique à chaque intervenant. En effet, nous avons choisi de faire concorder les modèles à évaluer et l'expérience de la personne interrogée à chaque fois. Par exemple, un professionnel ayant une expérience métier en phase de construction ne serait interrogée que sur le modèle de construction.

Ces documents ont été envoyés afin de permettre aux professionnels interrogés de mieux appréhender nos rencontres et d'avoir une certaine connaissance de ceux-ci lors de nos entrevues.

Les entrevues de type semi-structurées se sont déroulées en quatre étapes bien disctinctes, détaillées dans la figure ci-dessous.

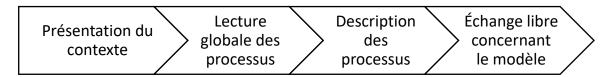


Figure G. 1 Schéma des étapes des entrevues semi-structurées

La première étape est une présentation du contexte, dans laquelle nous expliquons notre projet de recherche, son objectif et sa démarche. Nous situons également la validation dans la démarche de recherche et présentons son importance pour notre projet. Nous présentons également le contexte des modèles à présenter.

La seconde étape consiste en une lecture globale des processus. Les modèles sont parcourus rapidement, afin de permettre aux intervenants d'avoir une première compréhension globale de ceux-ci.

La troisième étape consiste en une reprise et une description des processus. Pour chaque activité, nous demandons à l'intervenant si la personne (rôle) qui a la charge de cette activité dans le modèle correspond à ce qui est pratiqué chez le partenaire. Le cas échéant, nous annotons l'activité avec les modifications suggérées. Nous effectuons cette démarche pour chaque activité une à une. Pour chaque modèle à évaluer -différents selon les intervenants- nous reprenons une à une chaque activité, incluant la reprise de chaque intrant, chaque extrant et chaque technique associé aux activités. Nous demandons aux intervenants de juger si un de ces éléments est superflu d'après eux, si la terminologie est correcte selon celle qui est utilisé en pratique et s'il manque des éléments importants (que ce soit une activité, un intrant, un extrant ou une technique).

La dernière étape des entrevues semi-structurées correspond à une période d'échange libre concernant le modèle. Dans cette période, l'intervenant interrogé pourra faire part des éléments significatifs manquants selon lui s'il y en a. Nous lui demandons également de nous donner son avis sur les modèles en nous faisant part notament de toutes les améliorations possibles qu'il voit. Enfin, nous lui demandons d'émettre un avis global sur la représentativité, l'applicabilité et le réalisme de notre modèle.

Ces entrevues semi-structurées nous ont permis de collecter les données de validation. Ces données de validation ont permis la quantification des indicateurs d'acceptation des processus, la mise en lumière de pistes d'amélioration et l'évaluation globale de la bonne compréhension des modèles.