

Travail de fin d'études / Projet de fin d'études : L'intégration de l'ACV dans les entreprises de la construction, des défis de sa mise en place aux mutations qu'elle engendre - Analyse auprès de professionnels belges et français, et d'un cas d'étude d'une maîtrise d'ouvrage française

Auteur : Lecomte, Elise

Promoteur(s) : Reiter, Sigrid

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil architecte, à finalité spécialisée en ingénierie architecturale et urbaine

Année académique : 2024-2025

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/24653>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Université de Liège

Faculté des Sciences Appliquées

L'intégration de l'ACV dans les entreprises de la construction, des défis de sa mise en place aux mutations qu'elle engendre

Analyse auprès de professionnels belges et français, et d'un cas d'étude d'une maîtrise d'ouvrage française

Travail de fin d'études réalisé en vue de l'obtention du grade de master Ingénieur Civil Architecte à finalité

LECOMTE Elise

Année académique 2024-2025

Promotrice :

Sigrid REITER

Jury :

Shady ATTIA

Aurélien DE BOISSIEU

Président du jury :

Mario COOLS

RESUME

Titre : Intégrer l'ACV dans les entreprises de la construction : facteurs, modèles d'organisation et transformations

Mots-clés : Analyse de cycle de vie (ACV) ; Bâtiment ; Gouvernance des données ; Chaîne BIM→ACV ; Pré-ACV ; Budget environnemental ; EPD/FDES ; Externalisation ; Internalisation ; Modèle hybride ; Innovation ; Décision coût-impact ; Organisation de projet.

Cet ouvrage examine comment les entreprises de la construction intègrent l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) à leurs processus et quelles transformations techniques, organisationnelles et culturelles en découlent. En combinant un état de l'art, un questionnaire sectoriel, des entretiens semi-directifs et une étude de cas, le travail identifie de façon systématique les facteurs moteurs et freins (qualité/disponibilité des données, compétences, délais, outils), précise les ressources nécessaires selon les structures organisationnelles et les cadres réglementaires, et analyse les conditions qui font de l'ACV un véritable levier d'innovation et de pilotage — au-delà de la seule conformité. L'analyse compare trois modèles de prise en charge (externalisation, internalisation, hybride), met en évidence le rôle critique de la pré-ACV et des rituels de décision (comités carbone, jalons), ainsi que la gouvernance de la donnée et le chaînage BIM→ACV pour réduire les itérations et stabiliser les arbitrages. Elle propose des indicateurs opérationnels permettant d'évaluer la trajectoire de chaque organisation et d'orienter les choix entre modèles « tout-externe », « tout-interne » ou hybride apprenant. Enfin, une hypothèse transversale positionne l'ACV comme levier stratégique et économique.

ABSTRACT

Title: Integrating LCA in Construction Firms: Drivers, Organizational Models, and Transformations

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA); Buildings; Data Governance; BIM→LCA Chain; Pre-LCA; Environmental Budget; EPD/FDES; Outsourcing; Insourcing; Hybrid Model; Innovation; Cost-Impact Decision-Making; Project Organization.

This work examines how construction companies integrate Life Cycle Assessment (LCA) into their processes and the resulting technical, organizational, and cultural transformations. Combining a literature review, a sectoral survey, semi-structured interviews, and a case study, it systematically identifies drivers and barriers (data quality/availability, skills, time, tools), specifies the resources required under different organizational structures and regulatory frameworks, and analyzes the conditions that turn LCA into a genuine lever for innovation and management—beyond mere compliance. The analysis compares three delivery models (outsourcing, insourcing, hybrid), highlights the critical role of pre-LCA and decision rituals (carbon committees, stage-gates), as well as data governance and the BIM→LCA chain to reduce iterations and stabilize trade-offs. It proposes operational indicators to assess each organization's trajectory and to guide choices between fully outsourced, fully in-house, or learning hybrid models. Finally, a cross-cutting hypothesis positions LCA as a strategic and economic lever.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à ma promotrice Sigrid Reiter, pour sa disponibilité constante et le suivi attentif de ce mémoire. Sa bienveillance, la qualité de ses échanges et l'intérêt qu'elle a porté à mon sujet ont été immédiatement très enrichissants. Ses points réguliers sur l'avancement, ainsi que ses retours toujours honnêtes et constructifs, m'ont véritablement aidée et motivée tout au long de ces mois de travail.

Je remercie chaleureusement mes relecteurs, Aurélie De Boissieu et Shadi Attia, pour leur présence, leur investissement et d'avoir accepté ce rôle. Je les remercie de plus pour le temps qu'ils m'ont consacré. C'est un véritable honneur d'avoir pu compter sur eux, tous deux experts reconnus dans leur domaine, et plus particulièrement dans ceux de l'ACV et du BIM.

Ma reconnaissance va également à Maxime Beurné et Adèle Breux, qui m'ont accueillie au sein de leur entreprise et de leur service. Merci pour la confiance accordée, l'accès à de nombreuses informations et données, et l'opportunité de participer à la production d'analyses de cycle de vie (ACV). Leur bienveillance, leur envie de partager leurs connaissances et leur exigence stimulante m'ont accompagnée et portée durant ces trois années de collaboration.

Je souhaite également exprimer toute ma reconnaissance à l'ensemble des personnes qui ont participé à mon questionnaire et accepté de consacrer de leur temps pour répondre à mes questions lors des entretiens. Leur disponibilité, leur implication et la richesse de leurs réponses ont apporté une valeur considérable à ce travail de recherche.

Je souhaite enfin remercier l'ensemble des professeurs qui m'ont guidée tout au long de mon cursus universitaire, ainsi que mes amis et mes collègues de travail. Leur soutien, leurs encouragements, leurs pistes de réflexion et leur regard critique m'ont aidée à progresser et à questionner sans cesse mes manières de faire.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce mémoire.

Merci à tous de m'avoir épaulé dans cette thématique qui me tient à cœur et me passionne vraiment.

TABLE DES MATIERES

1	Introduction	12
1.1	Contexte autour de l'ACV.....	12
1.2	Questions de recherche et objectifs de l'étude.....	13
1.3	Structure de l'étude.....	13
2	Etat de l'art.....	15
2.1	L'ACV et ses concepts	15
2.1.1	Définition de l'ACV	15
2.1.2	Les résultats : indicateurs environnementaux.....	18
2.1.3	L'état des lieux de l'ACV	19
2.2	Le cadre réglementaire et les facteurs favorables touchant au secteur de la construction.....	20
2.2.1	La réglementation à différentes échelles.....	20
2.2.2	Des initiatives nationales diversifiées.....	22
2.2.3	Les effets d'une réglementation plus stricte	23
2.3	La gestion des données : les bases données, les flux entrants et sortants	24
2.3.1	Les bases de données	24
2.3.2	Les données critiques pour la qualité de l'ACV	25
2.3.3	Les pistes d'amélioration pour la bonne gestion des données	29
2.4	Périmètre d'application : différentes échelles et différents secteurs.....	30
2.4.1	Les outils	30
2.4.2	Les secteurs impactés	30
2.4.3	Les offres d'ACV sur le marché.....	31
2.4.4	Les acteurs de l'ACV dans la construction.....	32
2.4.5	Les compétences nécessaires.....	34
2.4.6	L'ACV, un outil multicritère	36
2.5	Les pistes d'optimisation.....	37
2.5.1	L'ACV dans les prémices des projets	37
2.5.2	L'interprétation des résultats : une étape clés	37
2.5.3	Un levier d'activation pour optimiser les processus en interne	38
2.5.4	Automatisation, configuration et BIM	39
2.5.5	ACV, un produit commercial	39
2.6	Les perspectives d'évolution de l'ACV	41
2.6.1	Taux d'adoption de l'ACV dans les entreprises européennes du secteur de la construction	41
2.6.2	Vers des innovations collectives et des outils partagés	42

2.6.3	Les défis encore persistants	43
2.7	Synthèse état de l'art.....	44
2.8	Hypothèse	46
3	. Méthodologie	47
3.1	Phase 1 : Définition du cadre méthodologique	48
3.1.1	Le questionnaire	48
3.1.2	Les entretiens semi dirigés	52
3.1.3	Le cas d'étude, observation participative	55
3.2	Phase 2 : Analyse des résultats.....	55
3.2.1	Analyse du questionnaire	55
3.2.2	Analyse des entretiens semi dirigés	59
3.2.3	Analyse du cas d'étude : observation participante	60
3.3	Phase 3 : Discussion, cohérence des analyses.....	61
4	Résultats	61
4.1	Le questionnaire	61
4.1.1	Les résultats aux questions du questionnaire.....	61
4.1.2	Analyse des profils	77
4.1.3	Les résultats aux questions issues de l'analyse croisée	79
4.1.4	Conclusions du questionnaire	88
4.2	Les entretiens semi-dirigés	89
4.2.1	Analyse des profils	89
4.2.2	Analyse thématique	90
4.2.3	Les résultats aux questions issues des questions des entretiens	92
4.2.4	Les résultats aux questions issues de l'analyse croisée	93
4.2.5	Conclusions entretiens	95
4.3	Le cas d'étude	96
4.3.1	Présentation du cas d'étude	96
4.3.2	La frise chronologique	98
4.3.3	Le cheminement d'intégration de l'ACV.....	100
4.3.4	Tableau descriptif processus spécifique, type intégration ACV	107
4.3.5	Les grosses limites rencontrées et comment renforcer les opportunités.....	112
4.3.6	Conclusions de l'étude de cas	113
5	Discussion	114
5.1	Les analyses	114
5.1.1	Analyse état de l'art.....	114

5.1.2	Analyse croisée des résultats	115
5.1.3	Confrontation état de l'art et résultats	116
5.2	Eclairer les facteurs qui favorisent ou freinent l'appropriation de l'ACV par les entreprises de la construction	117
5.3	Proposer des repères pragmatiques pour guider les acteurs dans leurs choix d'organisation et pour transformer l'ACV d'un exercice de conformité en un véritable levier d'innovation	118
5.4	Choix d'hypothèse et justification	120
5.5	Autocritique	120
6	Conclusion	122

La conclusion est suivie de la bibliographie et des Annexes.

Annexe 1. Les abréviations

Annexe 2. Les concepts de l'ACV importants

Annexe 3. Le tableau récapitulatif des phases de l'analyse de cycle de vie

Annexe 4. Le questionnaire

Annexe 5. Les résultats du questionnaire

Annexe 6. Questions entretien

Annexe 7. Arbre thématique détaillé de l'analyse thématique des entretiens semi-dirigés

Annexe 8. Les principaux indicateurs environnementaux

Annexe 9. Revue des études d'analyse de cycle de vie

Annexe 10. Tableau regroupant les outils ACV

Annexe 11. Tableau des questions croisées pour le questionnaire

Annexe 12. Type de rendu graphique et méthode de réalisation

Annexe 13. Niveau évaluation profils

Annexe 14. Fiches profils entretien

Annexe 15. Réponse aux sous questions par l'état de l'art

Annexe 16. Tableau synthétisant les 15 facteurs les plus impactant

Annexe 17. La réglementation en France

Annexe 18. La réglementation en Belgique

Annexe 19. Hypothèse 1, informations complémentaires

Annexe 20. Hypothèse 2, informations complémentaires

Annexe 21. Hypothèse 3

Annexe 22. Les données entrantes et sortant

TABLES DES TABLEAUX

Tableau 1. Les catégories d'impact classiques de l'ACV sous quatre grands axes, tableau extrait et traduit de : « What are the challenges in assessing circular economy for the built environment » (Larsen et al., 2022).....	18
Tableau 2. Normes fondamentales avec domaine d'application et contenu principal.....	21
Tableau 3. Les 3 principaux types de base de données (Jorge-Ortiz et al., 2025; Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024)	24
Tableau 4. Eléments de l'ACV et leur impact sur les incertitudes, source : (Barjot & Malmqvist, 2024; Pannier et al., 2023)	29
Tableau 5. Les métiers impliqués	34
Tableau 6. Les compétences développées	36
Tableau 7. Critères envoi participants questionnaire	50
Tableau 8. Objectif et résultats des demandes d'entretien	53
Tableau 9. Organisation par bloc et sous bloc des entretiens.....	53
Tableau 10. Profil et intention différentes en fonction dans les entretiens	54
Tableau 11. Récapitulatif personnes interrogées et choix de l'entretien.....	54
Tableau 12. Méthodologie cas d'étude.....	55
Tableau 13. Catégorisation des questions du questionnaire en ligne	58
Tableau 14. Résultat question ouverte, typologie des attitudes.....	75
Tableau 15. Résultats question ouverte sondage, types arguments principaux.....	76
Tableau 16. Résultats question ouverte sondage, les cas concrets	77
Tableau 17. Résultats questionnaire, fiche profils	78
Tableau 18. Réponses aux sous-questions du questionnaire.....	88
Tableau 19. Récapitulatif des interviewés et métiers	89
Tableau 20. Résultats analyse thématique des entretiens semi-dirigés.....	91
Tableau 21. Résultats aux questions croisées des entretiens.....	95
Tableau 22. Réponses sous-questions à partir des entretiens	96
Tableau 23. Phase étude de cas	100
Tableau 24. Acteurs process intégration avec quantitatifs devis.....	108
Tableau 25. Acteurs process intégration avec quantitatifs BIM.....	110
Tableau 26. Acteurs process intégration avec pré- ACV et outils interne calcul quantitatifs.....	112
Tableau 27. Réponses aux sous-questions à partir de l'étude de cas	114
Tableau 28.. Matrice de correspondance « limites → leviers » dans l'intégration ACV en interne	116
Tableau 29. Axe et résultats.....	116
Tableau 30. Validation des hypothèses	116
Tableau 31. Les pistes d'ouverture.....	121
Tableau 32. Abréviations (annexe)	139
Tableau 33. Comparaison méthode top-down et bottom-up, (Säynäjoki et al., 2017).....	140
Tableau 34. Récapitulatif des phases de l'ACV et de ses modules, source: Guide de la RE2020, (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024) (annexe).....	141
Tableau 35. Les principaux indicateurs environnementaux (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024) (annexe).....	155
Tableau 36. Revue des études d'analyse de cycle de vie (traduction en français) , source : Environmental and economic performance of residential buildings: LCA LCC tool and case study in Colombia (annexe).....	161

Tableau 37. Revue comparative des outils ACV, source traduite: (Environmental and economic performance of residential buildings: LCA LCC tool and case study in Colombia) (annexe).....	163
Tableau 38. Questions croisées avec justification (annexe)	166
Tableau 39. Les différents types de rendu: méthode, rendu, interprétation (annexe)	170
Tableau 40. Grille évaluation intérêt personnel (annexe).....	170
Tableau 41. Grille évaluation intérêt professionnel (annexe)	170
Tableau 42. Grille évaluation connaissances (annexe).....	171
Tableau 43. Réponses aux sous-questions de l'état de l'art (annexe)	176
Tableau 44. Les 15 facteurs les plus influents identifiés par le criblage MA-Morris, « Dealing with uncertainties in comparative building life-cycle assessment », 2023) (annexe).....	177
Tableau 45. Hypothèse 1, transformations attendues	179
Tableau 46. Hypothèse 1, indicateur de validation	179
Tableau 47. Hypothèse 1, risques et conditions	179
Tableau 48. Hypothèse 2, transformations attendues	179
Tableau 49. Hypothèse 2, indicateurs de validation.....	180
Tableau 50. Hypothèse 2, risques et conditions ;	180
Tableau 51. Hypothèse 3, transformations attendues	180
Tableau 52. Hypothèse 3, Indications de validation.....	180
Tableau 53. Hypothèse 3, risques et conditions.....	181

TABLE DES FIGURES

Figure 1. Structure et schéma général de la méthodologie.....	14
Figure 2. Principe de l'ACV, (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024).....	15
Figure 3. Méthodologie de base pour la mise en place l'analyse de cycle de vie, Source: Environmental and economic performance of residential buildings: LCA LCC, (Jorge-Ortiz et al., 2025b).	16
Figure 4. Approche itérative en six étapes pour développer des configurateurs d'ACV proactifs pour les entreprises ETO du secteur du bâtiment et de la construction. Un outil numérique pour l'analyse du cycle de vie dans les projets de construction. Source : A digital tool for life cycle assessment in construction projects, (Campo Gay et al., 2024)	17
Figure 5. Formule calcul impact environnemental, Source : guide RE2020, (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024)	17
Figure 6. Building systems carbon framework, building layers (traduction: Cadre carbone des systèmes de construction, couches de construction), (Arup & World Business Council for Sustainable Development, 2023)	26
Figure 7. La hiérarchie de sélection des données environnementales, source: guide de la RE2020 final (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024).	28
Figure 8. Vue d'ensemble des rôles et des interactions dans le développement de projet (les rôles superposés indiquent plusieurs acteurs et les grappes grises indiquent un seul acteur cumulant plusieurs rôles), source : A digital tool for LCA in construction projects, (Campo Gay et al., 2024).....	32
Figure 9. Point d'équilibre entre le carbone opérationnel et incorporé (Arup & World Business Council for Sustainable Development, 2023).....	36
Figure 10. Cycle de vie d'un projet et des différents types d'apport de données. traduit et issu de la source : Green public procurement in construction(Ahmed et al., 2024)	39
Figure 11. Quantifying the financial value of building decarbonization technology under uncertainty, source: Integrating energy modeling and investment analysis. Energy & Building (Jose Valdez et al., 2023).....	41
Figure 12. Perception de la construction durable par les professionnels de la construction, Source : Saint-Gobain (L'observatoire de la construction durable & Saint Gobain, 2025)	42
Figure 13. Evaluation de l'empreinte carbone dans les projets par les acteurs de la construction, Source : Saint-Gobain (L'observatoire de la construction durable & Saint Gobain, 2025)	42
Figure 14. Absence de corrélation entre coût de construction et impact (Green Building Council Denmark, 2023).....	44
Figure 15. Organisation du mémoire, schéma de la méthodologie	47
Figure 16. Méthodologie du questionnaire	48
Figure 17. Etapes majeures pour réaliser un questionnaire (Traduction française) d'après « Survey Methods » in Handbook of Social Psychology, Schwarz et al.,1998	49
Figure 18. Validation du questionnaire	51
Figure 19. Méthodologie entretiens semi-dirigés.....	52
Figure 20. Lien entre les différents types de questions	58
Figure 21. Regroupement par catégorie et liens entre les données du questionnaire et les questions croisées	59
Figure 22. Résultats questionnaire, pays de résidence	Figure 23. Résultats questionnaire, années expériences.....
Figure 24. Résultats questionnaire, profession	
Figure 25. Résultats questionnaire, secteur d'activités	62

Figure 26. Résultats questionnaire, type d'entreprise	62
Figure 27. Résultats questionnaire, répartition de ce que fait entreprise en terme ACV	63
Figure 28. Résultats questionnaire, expérience avec l'ACV	63
Figure 29. Résultats questionnaire, entreprise et collaboration organisme ACV.....	64
Figure 30. Résultats questionnaire, niveau avancement ACV.....	64
Figure 32. Résultats questionnaire, les 3 mots qu'évoque l'ACV	65
Figure 31. Résultats questionnaire, nuage de mots de l'ACV en 3 mots	65
Figure 33. Résultats questionnaire, intérêts initiatives dans la vie personnelle des participants	65
Figure 34. Résultats questionnaire, intérêts initiative dans la vie professionnelle des participants	66
Figure 35. Résultats questionnaire, intérêt de l'ACV dans le secteur de la construction	66
Figure 36. Résultats questionnaire, les objectifs et les cas d'application de l'ACV	66
Figure 37. Résultats questionnaire, la mise en place et les étapes de réalisation de l'ACV.....	67
Figure 38. Résultats questionnaire, niveau de connaissance concernant les outils utilisés pour réaliser	67
Figure 39. Résultats questionnaire, le lien entre l'ACV et l'économie circulaire dans la construction	68
Figure 40. Résultats questionnaire, votre service devrait être en charge	68
Figure 41. Résultats questionnaire, connaissance de la qualité et de la quantité nécessaire de données.....	69
Figure 42. Résultats questionnaire, la réglementation environnementale dans votre pays	69
Figure 43. Résultats questionnaire, connaissances règlementation environnementale.....	70
Figure 44. Résultats questionnaire, réglementation afin de soutenir les démarches ACV	70
Figure 45. Résultats questionnaire, étendre l'ACV à tous les secteurs de la construction	71
Figure 46. Résultats questionnaire, intérêt pour réaliser des ACV dans le futur ?	71
Figure 47. Résultats questionnaire, ACV à réaliser en interne.....	72
Figure 48. Résultats questionnaire, impact sur mode de travail et rôle en interne	72
Figure 49. Résultats questionnaire, impact sur les collègues et fournisseurs	73
Figure 50. Résultats questionnaire, impact sur les choix constructifs	73
Figure 51. Résultats questionnaire, niveau de formation nécessaire	74
Figure 52. Analyse thématique de la question ouverte.....	74
Figure 53. Chronologie ACV donnée par résultats question ouverte	76
Figure 54. Résultats questionnaire, Question A : histogramme empilé	79
Figure 55. Résultats questionnaire, Question B' : boxplot	80
Figure 56. Résultats questionnaire, Question C : diagramme à barre.....	81
Figure 57. Résultats questionnaire, Question E : diagramme à barre	82
Figure 58. Résultats questionnaire, Question F : diagramme à barre	83
Figure 59. Résultats questionnaire, Question G : diagramme à barre.....	84
Figure 60. Résultats questionnaire, Question H : scatter plot.....	85
Figure 61. Résultats questionnaire, Question I : diagramme barre	86
Figure 62. Résultats questionnaire, Question J : histogramme empilé	87
Figure 63. QJ : Heatmap métiers × thèmes (données, pré-ACV, coûts/temps, réemploi).....	95
Figure 64. QB : Ancienneté (≤5 / 6–10 / >10 ans) × niveau de connaissance (faible / moyen / élevé).....	95
Figure 65. Frise chronologique de 2021 à 2025, de la mise en place de la démarche environnementale dans l'étude de cas	99
Figure 66. Schéma descriptif processus entreprise : quantitatifs devis	107
Figure 67. Schéma descriptif processus entreprise : quantitatifs BIM.....	109

Figure 68. Schéma descriptif processus entreprise : pré ACV et outils interne calcul quantitatifs	111
Figure 69. Effet boule de neige de l'ACV	119
Figure 70. Résultats entretien, fiche personne 1 (annexe)	171
Figure 71. Résultats entretien, fiche personne 2 (annexe)	171
Figure 72. Résultats entretien, fiche personne 3 (annexe)	172
Figure 73. Résultats entretien, fiche personne 4 (annexe)	172
Figure 74. Résultats entretien, fiche personne 5 (annexe)	173
Figure 75. Résultats entretien, fiche personne 6 (annexe)	173
Figure 76. Résultats entretien, fiche personne 7 (annexe)	174
Figure 77. Résultats entretien, fiche personne 8 (annexe)	174
Figure 78. Résultats entretien, fiche personne 9 (annexe)	175

1 Introduction

1.1 Contexte autour de l'ACV

L'intégration de l'analyse de cycle de vie (ACV) dans les entreprises de la construction s'impose aujourd'hui comme un enjeu stratégique, à l'interface des impératifs climatiques, de la transformation numérique des filières et de l'évolution des cadres réglementaires. Les ordres de grandeur confirment l'ampleur du sujet : « les bâtiments consomment 32 % de l'énergie mondiale et contribuent à 34 % des émissions mondiales de CO₂ » (United Nations Environment Programme, 2022)(p.1)

Sur le plan méthodologique, l'ACV est une démarche complète et dépendante de l'objectif et du champ ; elle s'appuie sur des référentiels normalisés qui en définissent les exigences, les frontières système et les modalités de calcul (BPIE, 2024; Giorgi et al., 2019; Goedkoop et al., 2013). Dans ce mémoire, l'ACV est entendue dans le cadre normatif ISO 14040/14044 et, au niveau bâtiment/produits, EN 15978 et EN 15804 (ISO 14040/14044 ; EN 15978 ; EN 15804). La diffusion et l'appropriation s'appuient sur des cadres européens, des labels environnementaux et déclinaison nationale qui appliquent des différents périmètres, indicateurs et livrables. Cela peut compliquer la compréhension des résultats, multiplier les interprétations et demande donc de la vigilance lorsque on les intègre aux projets. La difficulté est donc de comprendre le périmètre considéré, les données, les projets étudiés, la diversité des réglementations et certifications afin de pouvoir les comparer et analyser (tension 1) (BPIE, 2024; Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024). La question de l'incertitude, le manque de données et leur gestion est un critère central pour une ACV de qualité. Les incertitudes touchent notamment les comparaisons, qui appellent des traitements rigoureux et une explicitation des périmètres, modules, données choisies (tension 2) (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024; Pannier et al., 2023). Au-delà du cadre, les travaux soulignent des contraintes d'usage en entreprise, coût/temps de réalisation, charge de collecte et de modélisation, besoin de compétences spécifiques, et une complexité reconnue de l'ACV bâtiment (tension 3) (Basbagill et al., 2014; Ghattas et al., 2016; Säwén et al., 2022; Tecchio et al., 2019). Cette complexité tient autant à la nature du système (volume d'informations, interactions, facteurs temporels et géographiques, variabilité des projets) qu'aux dimensions « compliquées » liées aux pratiques (qualité de données, interfaces/outils, choix méthodologiques). L'originalité des projets ne doit pas être lissée dans les études (tension 4) (Barjot & Malmqvist, 2024; Durão et al., 2019; Ghattas et al., 2016). Malgré ces avancées, l'usage de l'ACV dans l'industrie du bâtiment demeure encore limité et bien souvent focalisée sur la phase usage du bâtiment (tension 5) (Ghattas et al., 2016). In fine, si l'ACV est reconnue comme méthode robuste pour objectiver les impacts sur l'ensemble du cycle de vie, son appropriation par les organisations reste hétérogène. Les entreprises se heurtent à des questions très concrètes : disponibilité et qualité des données, compétences internes, coûts et charge de travail, articulation avec les processus BIM et de chiffrage, lisibilité des résultats pour la décision, ainsi que le choix d'organisation entre internalisation, modèles hybrides et externalisation vers des bureaux d'études spécialisés (tension 6). C'est à ces défis d'intégration et aux mutations organisationnelles qu'ils engendrent que ce mémoire est consacré. Sur le plan opérationnel, l'intégration de l'ACV s'appuie sur des travaux méthodologiques qui précisent les choix et l'interopérabilité (Durão et al., 2019; Safari & AzariJafari, 2021).

1.2 Questions de recherche et objectifs de l'étude

Ce mémoire part donc de six tensions structurantes : 1) la logique des certifications et réglementations peut ignorer des phases du cycle, structurer différemment leurs résultats; 2) la comparabilité est fragilisée par l'incertitude et les frontières système, nécessitant des traitements robustes, 3) la rigueur méthodologique (données complètes, traçabilité) se heurte aux contraintes de délais et de moyens; 4) la standardisation affronte la singularité des projets; 5) la focalisation sur l'énergie d'usage occulte le carbone incorporé; 6) l'organisation en entreprise n'est pas unique et doit s'adapter au mieux (internalisation, externalisation et modèles hybrides de l'ACV)

Portée par un fort intérêt environnemental et ces problématiques soulevées, la question centrale de ce mémoire est :

Comment les entreprises de la construction intègrent-elles l'ACV à leurs processus et quelles transformations – techniques, organisationnelles et culturelles – cette intégration implique-t-elle ?

En mettant l'accent sur l'intégration, plutôt que sur l'ACV en tant que telle, ce mémoire ambitionne deux contributions principales. La première est analytique : éclairer les facteurs qui favorisent ou freinent l'appropriation de l'ACV par les entreprises de la construction. La seconde est opérationnelle : proposer des repères pragmatiques pour guider les acteurs dans leurs choix d'organisation et pour transformer l'ACV d'un exercice de conformité en un véritable levier d'innovation, de pilotage et de création de valeur durable. À travers ce travail, il est question de montrer concrètement comment se fabrique et s'intègre l'ACV : quelles décisions la rendent possible, quels compromis elle exige et quelles mutations, culturelles autant que techniques, elle amorce au sein des organisations.

Ces objectifs se déclinent en quatre sous-questions de recherche :

1. *Quels sont les facteurs moteurs et les obstacles à l'intégration de l'ACV dans les processus d'une entreprise de construction (financiers, ressources humaines, compétences techniques, ressources matérielles, délais, etc.) ?*
2. *Selon les structures organisationnelles et les cadres réglementaires, comment les ACV sont-elles prises en charge par les entreprises, et quelles ressources sont nécessaires ?*
3. *Comment l'ACV peut-elle devenir un levier d'innovation, un centre d'intérêt et de prise de conscience au sein de l'entreprise ?*
4. *Comment l'ACV est-elle intégrée aujourd'hui en entreprise : internalisation des compétences ou recours à des bureaux d'études ACV externes (ou modèles hybrides) ? Quelle méthode semble la plus adéquate ?*

1.3 Structure de l'étude

Ce mémoire se base sur une approche mixte en trois travaux : (1) questionnaire en ligne auprès de professionnels (architectes, ingénieurs, économistes, AMO, entreprises, industriels) pour cartographier pratiques, niveaux de connaissance et freins/leviers ; (2) entretiens semi-directifs pour expliquer les choix, l'organisation des équipes et l'effet des contraintes réglementaires et de marché ; (3) observation participante en maîtrise d'ouvrage pour documenter l'intégration réelle (données, articulation BIM-chiffrage, restitutions/validations).

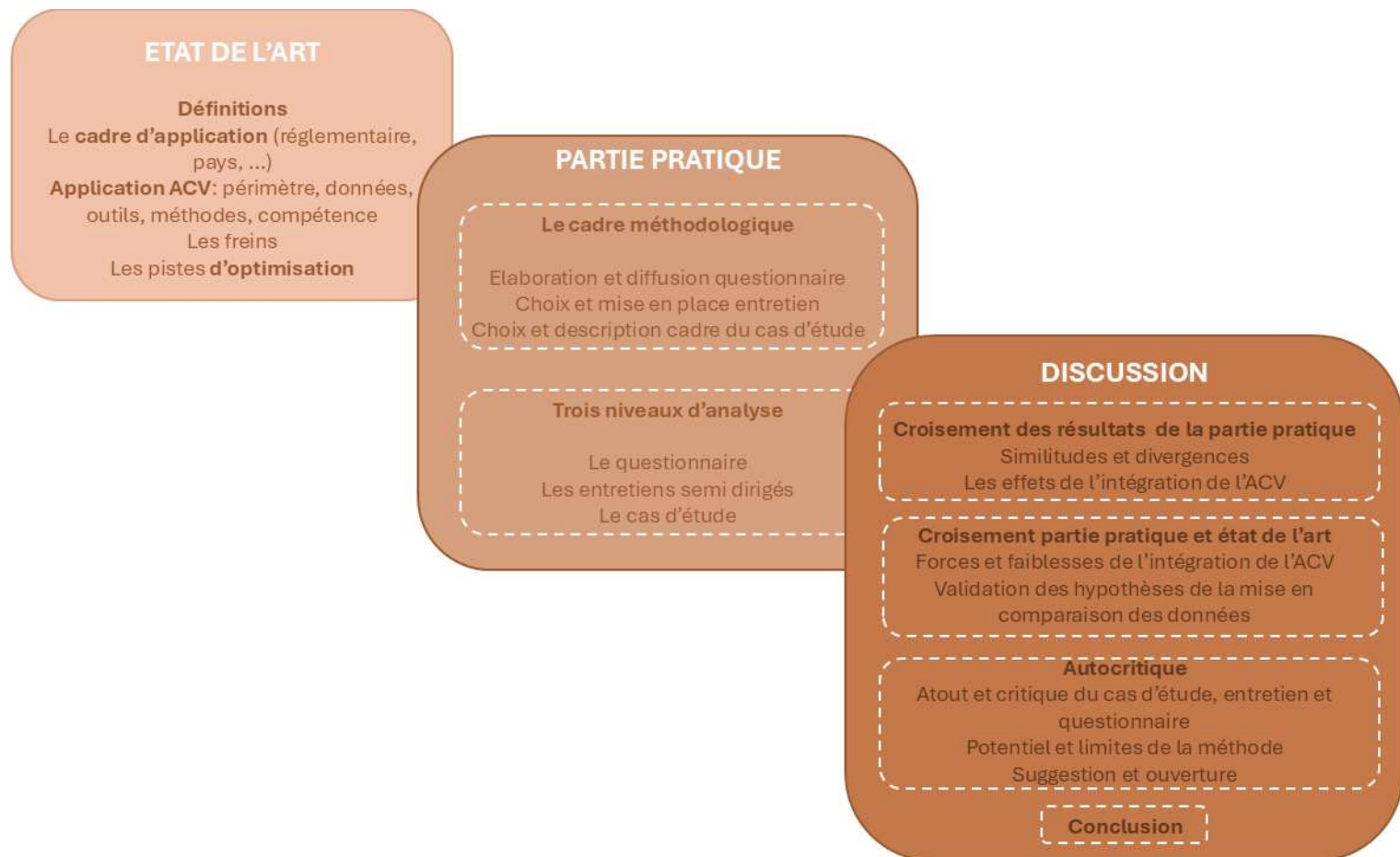


Figure 1. Structure et schéma général de la méthodologie

Le mémoire s'articule autour d'une structure en six volets : (1) Introduction ; (2) État de l'art (concepts ACV, indicateurs, normes, données, périmètres, outils, acteurs, perspectives) ; (3) Méthodologie (questionnaire, entretiens, étude de cas) ; (4) Résultats — trois volets puis une analyse croisée ; (5) Discussion (analyse des résultats, pistes d'intégration, limites du travail) ; (6) Conclusion et Annexes. La table des matières permet une vision plus détaillée de la structure.

Une fiche récapitulative des abréviations est disponible en annexe 1.

2 Etat de l'art

2.1 L'ACV et ses concepts

2.1.1 Définition de l'ACV

L'analyse de cycle de vie (ACV) est désormais la référence scientifique consolidée pour juger de la performance environnementale des bâtiments, couvrant la production, la construction, l'exploitation et la fin de vie (Jorge-Ortiz et al., 2025a; Tozan et al., 2024). Elle est normalisée par les ISO 14040/14044, et étudiée depuis 1990 par la SETAC qui a lancé le processus de normalisation (Hoogmartens et al., 2014; Pannier et al., 2023). L'ACV est définie telle que la compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système-produit tout au long de son cycle de vie (ISO, 2021; L'observatoire de la construction durable & Saint Gobain, 2025). Les quatre étapes canoniques de sa réalisation sont systématiquement rappelées : but et champ, inventaire, évaluation des impacts, interprétation (Hoogmartens et al., 2014; International Organization for Standardization, 2006; Life Cycle Initiative, 2024; Safari & AzariJafari, 2021).



Figure 2. Principe de l'ACV, (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024)

Ce schéma illustre les grandes étapes prises en compte dans l'étude du cycle de vie d'un bâtiment : depuis la production des matériaux et leur mise en œuvre dans les projets, jusqu'à leur fin de vie, voire une seconde vie sous une autre forme et leur réutilisation dans d'autres projets (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024). Le tableau récapitulatif des phases de l'analyse de cycle de vie est disponible en annexe 3. On parle aussi d'un cycle de vie du berceau à la tombe (Larsen et al., 2022; Life Cycle Initiative, 2024). Le tableau récapitulatif des phases de l'ACV (disponible en annexe 3) apporte des précisions sur ces dernières (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024). Elles y sont classées de A à D et détaillées en sous-catégories. Ainsi, le périmètre est clarifié et chaque étude doit indiquer les étapes effectivement considérées dans son cas (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024). Il faut noter que des informations complémentaires sur les concepts importants de l'ACV se trouve en annexe 2.

L'unité fonctionnelle (UF) sert de base de référence décrivant la fonction rendue, l'unité de mesure choisie pour l'élément, son périmètre, sa durée de vie de référence et le niveau de performance de l'objet étudié. Dans le contexte INIES / ACV bâtiment RE2020, l'UF peut correspondre au bâtiment sur 50 ans, avec remplacement des produits dont la durée de vie est plus courte que celle indiquée pour le bâtiment. Pour les produits, on utilise en pratique l'unité déclarée (UD) des FDES/EPD (par ex. : la fourniture d'1 m³ de béton), qui est ensuite agrégée dans l'ACV bâtiment en cohérence avec l'UF du bâtiment (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024).. Cette logique est cohérente avec la littérature internationale (EN 15978) (Khadim et al., 2025). À titre

d'exemple, l'UF peut être fixée dans certaines études pour maison individuelle $\sim 95 \text{ m}^2$ sur 60 ans (Khadim et al., 2025). Cependant, il reste des variations importantes selon les études. La phase d'usage varie fortement (≈ 30 à 100 ans), et les périmètres peuvent aller d'une approche énergie/matériaux à des ACV « complètes » sans certains postes (transports, etc.) (Ghattas et al., 2016). Cette diversité confirme qu'il n'existe pas de méthode en or unique et que l'ACV dépend de son objectif et de son champ d'application (Goedkoop et al., 2013).

Pour évaluer la durabilité des bâtiments et des stratégies circulaires environnementales et économiques, les référentiels reconnus et normalisés sont l'ACV (ISO 21930:2017 ; EN 15978:2011) et l'ACC(ISO 15686-5:2017 ; EN 16627:2015) (Giorgi et al., 2019). L'ISO 14031 aide à relier les indicateurs ACV aux objectifs de politique environnementale par la structure MPI/OPI/KPI/ECI (ISO, 2021; United Nations Environment Programme, 2024). Les outils normalisés se répartissent en quatre familles : les bases matériaux, les moteurs de calcul économétriques, les ACV produits, les ACV bâtiment complètes (Giorgi et al., 2019). Sur le plan méthodologique de l'utilisation de l'ACV, la littérature récente formalise un processus en trois étapes : (1) collecte de données, (2) ACV, (3) génération de valeurs d'étalonnage, cette dernière se rapprochant de la phase interprétation de l'ISO 14040 (Mattinzioli et al., 2022). Ce cadre distingue valeur limite / valeur de référence / valeur cible à court/long terme selon ISO 21678. Les travaux récents visant des valeurs limites ACV bottom-up s'adossent à EN 15978 (Barjot & Malmqvist, 2024; Tozan et al., 2024). D'autre manière de présenter la méthodologie de la réalisation de l'ACV existe. La méthodologie de Jorge-Ortiz et al. pour la réalisation d'une ACV est présentée dans la figure 3. Elle comprend la sélection des exigences auxquelles l'outil ACV|ACC proposé doit répondre, la description du développement de la base de données à intégrer, ainsi que les algorithmes permettant de calculer l'impact environnemental et économique d'un bâtiment. L'étude aboutit à la conception de l'outil ACV|ACC, avec la présentation des données nécessaires à saisir par l'utilisateur et des résultats produits (Jorge-Ortiz et al., 2025b).

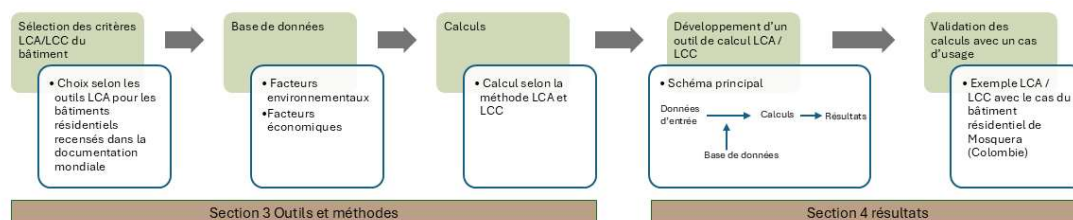


Figure 3. Méthodologie de base pour la mise en place l'analyse de cycle de vie, Source: Environmental and economic performance of residential buildings: LCA|LCC, (Jorge-Ortiz et al., 2025b).

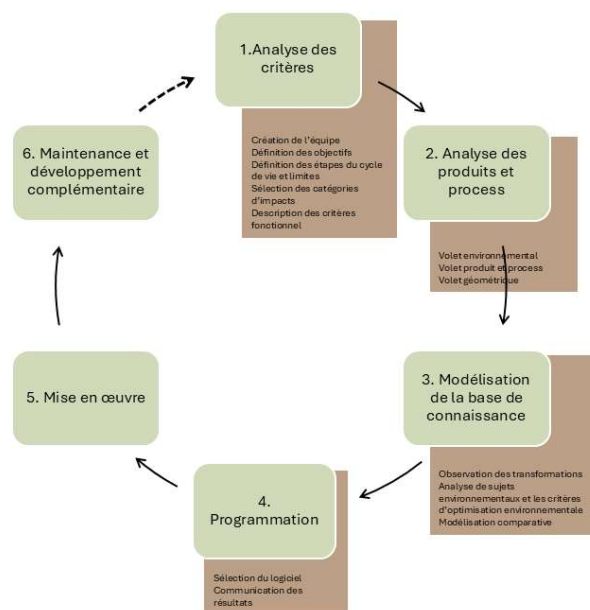


Figure 4. Approche itérative en six étapes pour développer des configurateurs d'ACV proactifs pour les entreprises ETO du secteur du bâtiment et de la construction. Un outil numérique pour l'analyse du cycle de vie dans les projets de construction. Source : A digital tool for life cycle assessment in construction projects, (Campo Gay et al., 2024)

Les apports opérationnels de l'ACV sont constants : identifier les composants et familles de matériaux les plus impactant, comparer des scénarios/alternatives, éviter les transferts d'impacts, et éclairer la décision publique/privée dans une logique d'économie circulaire (Life Cycle Initiative, 2024). Dans les projets, l'ACV quantifie toutes les contributions aux impacts environnementaux pour les matériaux de leur production à leur fin de vie (Campo Gay et al., 2024). Il permet d'associer une donnée de projet (quantité de produit, quantité d'énergie issue du calcul énergétique, donnée de chantier...) à une donnée environnementale pertinente qui fournit les impacts unitaires (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024). Un tableau passant en revue les différentes études d'ACV est disponibles en annexe 9.

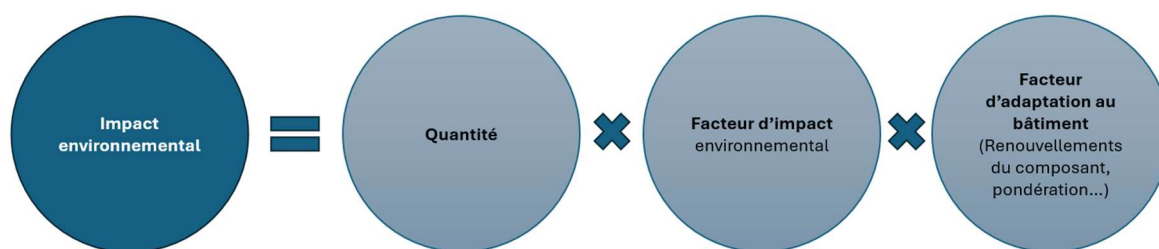


Figure 5. Formule calcul impact environnemental, Source : guide RE2020, (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024)

L'intégration des informations ACV dans les objets BIM se fait en cohérence avec le cadre ISO 14040 (Durão et al., 2019). Les incertitudes en ACV, particulièrement quand elle permet de comparer des projets, rappellent le besoin d'alignement avec ISO 14040-44 pour la précision du périmètre étudié (Pannier et al., 2023). Certains des concepts spécifiques à l'ACV sont disponibles en annexe 2.

2.1.2 Les résultats : indicateurs environnementaux

Dans les ACV bâtiment, l'indicateur le plus couramment mobilisé est le potentiel de réchauffement global (GWP), exprimé en kg CO₂e et décliné réglementairement en kg CO₂e/m² (souvent annualisé en kg CO₂e/m²/an). Cette centralité se retrouve dans la pratique (outil numérique ACV chantier) (Safari & AzariJafari, 2021) comme dans la normalisation EN 15978 (bâtiment) et EN 15804 (EPD produits), ainsi que dans les cadres réglementaires récents qui retiennent le GWP comme indicateur pivot (Barjot & Malmqvist, 2024). Des indicateurs réglementaires peuvent être mis en place. Dans la RE2020, l'énergie et la construction sont exprimés en kg CO₂e/m² de surface de référence sur 50 ans (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024). Afin de rassembler les indicateurs environnementaux liés à un produit, des documents sont produits et sont rendus accessibles. Les EPD/FDES/PEP constituent des données d'entrée de matériaux vérifiées pour l'ACV bâtiment (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024). Leur comparabilité repose sur des PCR (Product Category Rules) afin d'harmoniser périmètres, unités et hypothèses (ISO, 2021).

Le tableau des principaux indicateurs environnementaux (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024) situé en annexe 8, résume les principaux indicateurs environnementaux utilisés dans le cadre d'une ACV, en précisant leur signification et leur portée. Larsen et al. adoptent d'emblée une lecture « planétaire » des impacts environnementaux et pour éviter les transferts de charge intra- et inter-dimensionnels (Larsen et al., 2022). Ils regroupent toutes les catégories d'impact classiques de l'ACV sous quatre grands axes :

Axe synthétique	Logique suivie par les auteurs	Exemples de catégories ACV associées (non exhaustif)
1. Balance énergétique planétaire & changement climatique	Référence au budget carbone mondial – dérèglement du climat si le forçage radiatif augmente.	GWP, CED, épuisement des ressources fossiles
2. Perte de biodiversité	Dégradation des écosystèmes par fragmentation d'habitats, acidification, eutrophisation...	Land use, Eutrophication (ter., mar., fse), Acidification
3. Pollution & érosion des sols	Accumulation de substances toxiques/dangereuses qui compromettent la qualité des sols et la santé humaine.	Human toxicity, Ecotoxicity, Ionising Radiation, Waste mass
4. Stress hydrique	Surexploitation ou contamination des ressources en eau douce.	Water use, Water consumption

Tableau 1. Les catégories d'impact classiques de l'ACV sous quatre grands axes, tableau extrait et traduit de : « What are the challenges in assessing circular economy for the built environment » (Larsen et al., 2022)

Cette synthèse poursuit trois objectifs. D'abord, la lisibilité stratégique : ramener la vingtaine d'indicateurs d'ACV à quatre « messages » facilite la prise de décision dans les projets de construction. Ensuite, l'alignement sur la réglementation climatique : l'axe 1 correspond au seul indicateur obligatoire dans la plupart des réglementations (RE2020, BACS, Level(s)...), tandis que les axes 2 à 4 rappellent des externalités souvent négligées. Enfin, prévenir les transferts de charge : l'agrégation invite les concepteurs à vérifier que la réduction du carbone (axe 1) ne se fait pas au détriment de l'eau ou de la biodiversité (axes 2 à 4) (Larsen et al., 2022). D'autre manière de venir trier les impacts classiques existent tel que la caractérisation des flux. La caractérisation classe les flux en catégories "midpoint" (ex. changement climatique, acidification, eutrophisation, unité de référence) et "endpoint" qui agrègent plusieurs flux (ex. santé humaine, épuisement des ressources, unité variable) (Durão et al., 2019; Hoogmartens et al., 2014). Au-delà du bâtiment, le Global Buildings Climate Tracker combine 7 indicateurs mêlant actions

(codes, investissements, NDC, certifications) et impacts (émissions, intensité, part de renouvelables), normalisés et pondérés selon leur importance (United Nations Environment Programme, 2022).

La littérature et les retours d'outils listent couramment une vingtaine d'indicateurs et confirment que $\approx 85\%$ des outils retiennent au moins le GWP, mais bien moins couvrent la biodiversité ou l'eau (Jorge-Ortiz et al., 2025b). Les catégories les plus adoptées incluent GWP, ODP, AP, EP, ADP(m), ADP(e), énergie cumulée (CED) (Kun Lu et al., 2021). La réglementation récente priorise le GWP rapporté à la surface ($\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$, souvent par an). Les travaux sur les valeurs limites montrent l'usage opérationnel du GWP en priorité pour fixer des seuils par typologie de bâtiment. Par exemple dans l'étude de Tozan et al., 2024, une valeur limite générale est fixée à $9,0 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2/\text{an}$, des valeurs limites différenciées étant par ailleurs établies pour huit typologies de bâtiments (Tozan et al., 2024). Cette hiérarchisation donne de la visibilité au GWP tout en soulignant les angles morts (biodiversité, eau). Comme Durão et al. dit, les praticiens se contentent souvent d'un seul paramètre, par exemple l'énergie grise ou le CO_2 , ce qui ne couvre pas l'ensemble des impacts. (Durão et al., 2019). Cette alerte est cohérente avec les mises en garde midpoint vs endpoint : un indicateur unique peut masquer d'autres impacts et accroître l'incertitude. L'harmonisation méthode-unités (CML, TRACI, ReCiPe, etc.) est donc déterminante pour la comparabilité (Safari & AzariJafari, 2021).

L'ensemble de ces résultats peuvent être aussi lu via le prisme de label qui permettent une autre lisibilité et interprétation. Côté sortie et lisibilité, DGNB et Minergie-ECO fournissent des valeurs numériques, quand BREEAM propose des niveaux (A+ à E). Des travaux montrent que des utilisateurs non experts préfèrent un méta-indicateur unique, bien que d'autres jugent les valeurs numériques plus utiles (Mattinzioli et al., 2022). Certains vont plus loin dans la manipulation des résultats obtenu avec l'ACV, tel qu'en Finlande. Le cadre finlandais propose, en plus de l'empreinte carbone (GWP), un handprint décrivant les bénéfices climatiques qui n'existeraient pas sans le projet. Il n'est pas (à ce stade) un usage traditionnel de l'ACV bâtiment (standards finlandais) (Kuittinen & Häkkinen, 2020).

2.1.3 L'état des lieux de l'ACV

L'examen du corpus d'études dans la revue de Jorge-Ortiz (2025) situé en annexe 9 sur l'ACV appliquée au bâtiment met en évidence des régularités méthodologiques et des lacunes persistantes (Jorge-Ortiz et al., 2025b). Du point de vue du périmètre, les modules A1–A3 (phase produit) sont quasi systématiquement couverts, tandis que A4–A5 (transport et chantier) ne sont intégrés que dans une partie des travaux. Les modules d'usage montrent une focalisation récurrente sur B6 (énergie opérationnelle), alors que B4 (remplacements), B1–B5/B7 et, plus encore, les modules C (fin de vie) demeurent moins fréquemment renseignés. Le module D (au-delà des frontières du système) reste marginal (Apostolopoulos et al., 2023; Arbulu et al., 2023; Hester et al., 2018; Tecchio et al., 2019). Sur le plan des données, Ecoinvent constitue la base d'inventaire la plus mobilisée, complétée ponctuellement par des ressources régionales (USLCI, Ökobau.dat/BUILD) et par des EPD lorsqu'elles sont disponibles (notamment au Danemark, en Espagne et en Chine). Les catégories d'impact demeurent largement dominées par le réchauffement climatique (GWP) ; quelques travaux élargissent le spectre, mais une couverture véritablement multi-indicateurs reste l'exception (Kanafani et al., 2021). L'ACV sociale est absente du corpus (Jorge-Ortiz et al., 2025b). L'intégration des coûts du cycle de vie (LCC) apparaît encore minoritaire et, lorsqu'elle existe, la co-optimisation ACV|LCC demeure peu répandue (Apostolopoulos et al., 2023; Hester et al., 2018). Du côté des méthodes et de l'outillage on observe quelques exemples d'intégration BIM-ACV (ex., export XML ou liaisons outillées) mais

une interopérabilité encore limitée (Kanafani et al., 2021). Les résultats publiés privilégient des visualisations descriptives et intègrent rarement des analyses d'incertitude ou de sensibilité systématiques (Basbagill et al., 2014; Hester et al., 2018). Enfin, la granularité technique demeure hétérogène. De nombreuses études se concentrent sur l'enveloppe (murs, façades, fenêtres), quand l'évaluation du bâtiment entier (incluant structure, techniques et services) reste moins fréquente. Par ailleurs, le champ d'application est fortement orienté résidentiel, avec quelques travaux multi-typologies ou à l'échelle quartier/urbaine, encore minoritaires (Famiglietti et al., 2022; Trigaux et al., 2017).

2.2 Le cadre réglementaire et les facteurs favorables touchant au secteur de la construction

2.2.1 La réglementation à différentes échelles

2.2.1.1 Dans le monde

À l'échelle mondiale, la pratique de l'ACV est structurée par ISO 14040 (principes et cadre) et ISO 14044 (exigences et lignes directrices). Ces normes servent de base à l'architecture méthodologique et servent de référence aux applications bâtiment (Khadim et al., 2025; Safari & AzariJafari, 2021). Pour articuler ACV et économie circulaire, le corpus s'élargit à ISO/FDIS 59020:2024 (mesure et évaluation de la circularité) et ISO 20887:2020 (conception pour la démontabilité et l'adaptabilité). ISO 21930 encadre par ailleurs la déclaration environnementale des produits de construction. Ensemble, ces normes justifient un processus itératif et multi-niveaux (matériau → élément → système) compatible ACV-circularité (Khadim et al., 2025).

Ainsi, l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est encadrée par plusieurs normes internationales qui font référence dans le secteur de la construction. Les plus fondamentales sont :

<i>Norme</i>	<i>Domaine / Objet</i>	<i>Contenu principal</i>	<i>Particularité</i>
<i>ISO 14040:2006</i>	Gestion environnementale – ACV – Principes et cadre	Établit les principes généraux de l'ACV et ses quatre étapes : objectifs et champ, inventaire (LCI), évaluation des impacts (LCIA), interprétation.	Définir le but, le contexte et les limites de la recherche ACV. (Lu et al., 2021)
<i>ISO 14031</i>	Dispositif de pilotage de la performance environnementale	Définit un processus d'évaluation de la performance environnementale (EPE) permettant de mesurer, évaluer et communiquer la performance environnementale au moyen d'indicateurs clés (KPIs)	N'établit pas de niveaux de performance d'après l'ISO 14031 : son rôle est de structurer la mesure et la veille (ISO, 2021)
<i>ISO 21678:2020</i>	Cadre international de l'étalonnage pour les bâtiments et ouvrages de génie civil	Définit les types de valeurs à publier, décrit les sources et informations nécessaires, fixe les règles de	Valeur limite, valeur de référence, valeur cible, calculées à partir d'échantillons statistiquement représentatifs et révisées

		déclaration/communi- cation	régulièrement, benchmarking ISO 21678:2020
ISO 14044:2006	Gestion environnementale – ACV – Exigences et lignes directrices	Complète ISO 14040 avec des exigences détaillées pour chaque étape de l'ACV.	L'ISO 14044 spécifie les exigences et les lignes directrices pour la réalisation d'une ACV(Campo Gay et al., 2024)
ISO 21930:2017	Produits de construction – Déclarations environnementales (EPD)	Spécifie les règles pour les EPD des produits de construction, souvent avec l'EN 15804.	(Khadim et al., 2025)
ISO 20887:2020	Design for disassembly – Réversibilité des bâtiments	Souligne l'importance de la démontabilité dans la conception des bâtiments.	(Khadim et al., 2025)
ISO/FDIS 59020:2024	Évaluation de la circularité – Norme en finalisation	Définit les critères pour évaluer la circularité (norme en cours de finalisation).	(Khadim et al., 2025)

Tableau 2. Normes fondamentales avec domaine d'application et contenu principal

L'approche « la mentalité cycle de vie » portée par l'ONU rappelle la finalité transversale de ces référentiels. Cela consiste à dépasser le focus traditionnel sur les sites de production et les procédés de fabrication, afin de prendre également en compte les impacts environnementaux, sociaux et économiques d'un produit (Di Maria et al., 2020; United Nations Environment Programme, 2022). Dans la perspective de l'Accord de Paris, les pays sont appelés à intensifier leurs efforts, y compris dans le secteur du bâtiment et de la construction, ce qui explique la montée en puissance des valeurs-limites ACV et des benchmarks pour piloter la décarbonation (Tozan et al., 2024). Bien que dans la pratique, une analyse montre que seulement ~22 % des études respectent les trois niveaux recommandés par ISO 21678 (Mattinzioli et al., 2022).

2.2.1.2 En Europe

Au niveau européen, l'évaluation du cycle de vie des bâtiments s'appuie sur le couple EN 15804 (règles pour les EPD des produits de construction) et EN 15978 (méthode d'ACV au niveau bâtiment) (*Sustainability of Construction Works*, 2021). La révision en cours (prEN 15978:2024) aligne explicitement les catégories d'impact bâtiment sur celles de EN 15804+A2 (produit) car l'évaluation au bâtiment requiert des informations issues des produits et services (*Sustainability of Construction Works*, 2021). Côté modules, EN 15978 structure les résultats sur la production, le remplacement, l'énergie d'usage et la fin de vie (Campo Gay et al., 2024; Tozan et al., 2024). La directive 2014/24/UE harmonise les marchés publics et autorise l'évaluation par le coût du cycle de vie (LCC) pour l'attribution d'un marché. (Parlement européen & Conseil de l'Union européenne, 2014). Cette base soutient la politique de Green Public Procurement (GPP), qui facilite l'intégration de critères ACV, de coûts du cycle de vie et de pratiques circulaires dans les appels d'offres (Ahmed et al., 2024; Fregonara et al., 2022; Scherz et al., 2023). Le plan d'action de la Commission (taxonomie) annonce des mesures pour améliorer la transparence des méthodologies de benchmarks bas-carbone. En parallèle, la normalisation ISO 21678:2020

(benchmarks) sert de référentiel pour les types de valeurs (limite/référence/cible), les sources d'information et les règles de déclaration/communication. Cette base est reprise par la littérature européenne sur les valeurs limites ACV (Mattinzioli et al., 2022).

Différentes actions européennes permettent de conduire vers l'utilisation de l'ACV. La Commission européenne promeut l'ACV via Level(s), cadre volontaire destiné à harmoniser les indicateurs entre États membres et à structurer la remontée d'information ; dans la pratique, les résultats sont restitués selon les modules EN 15978 (Campo Gay et al., 2024). La norme européenne produits (EN 15804) fournit le tronc commun des RCP (PCR) pour les déclarations environnementales relatives à tout produit et service de construction (*Sustainability of Construction Works*, 2021). De plus, l'EED 2012/27/UE impose l'élaboration de stratégies de rénovation de long terme. Pour 2021–2030, chaque État membre doit présenter un Plan national énergie-climat (NECP) détaillant les moyens d'atteindre les cibles 2030 (Jorge-Ortiz et al., 2025b; Parlement européen & Conseil de l'Union européenne, 2012). Parallèlement, la Directive-cadre déchets 2008/98/CE (révisée) fixe l'objectif de 70 % de recyclage des déchets de construction-démolition (Di Maria et al., 2020). L'EPBD est un cadre législatif mis en place par l'Union européenne pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments neufs et existants. La première directive date de 2002 et dernièrement révisée et tout récemment actualisée dans le cadre du *Green Deal* (révision votée en 2023). Les EPBD fixent des objectifs qui sont ensuite transposés dans le droit national de chaque État membre. La nouvelle EPBD impose le calcul des émissions de GES sur l'ensemble du cycle de vie pour tout nouveau bâtiment à partir de 2027, avec mise en place progressive de valeurs limites européennes (BPIE, 2024). Cette dynamique s'inscrit dans un contexte de mise à jour des codes dans plusieurs pays européens et d'alignement sur l'Accord de Paris (United Nations Environment Programme, 2022). Donc, les codes énergétiques et environnementaux nationaux se mettent à jour pour s'aligner sur l'EPBD et l'Accord de Paris (RE2020 en France, 2023 au Danemark, 2021 au Royaume-Uni, etc.). Cependant, une part notable n'a pas été révisée depuis 2015 ; l'UE encourage donc renforcement et meilleure application des codes (United Nations Environment Programme, 2022). Enfin, les paramètres environnementaux des objets BIM sont alignés sur les catégories d'impact EN 15804, et l'écosystème de bases ouvertes est interopérable par API. Entre autres, c'est un ensemble de règles, formats et points d'accès qui permet à un logiciel d'échanger automatiquement des données avec une autre (base EPD) de façon fiable et sécurisée permettant la mise à jour automatisée des inventaires. (Durão et al., 2019; Safari & AzariJafari, 2021)

2.2.2 Des initiatives nationales diversifiées

La littérature signale un manque d'incitations publiques freinant l'intégration conjointe ACV/LCC/BIM et les recherches insistent sur le rôle des gouvernements (gratifications, taxes CO₂, politiques écoresponsables) pour déclencher l'usage de l'ACV dans la réduction des GES (Li et al., 2020). Distinguer normes (cadre) et initiatives (politiques, programmes, outils) est essentiel pour l'analyse. **En France**, la RE2020 est la première réglementation française (et l'une des premières au monde) à introduire la performance environnementale dans la construction neuve via l'analyse du cycle de vie. Elle poursuit trois objectifs majeurs : sobriété énergétique et décarbonation de l'énergie, diminution de l'impact carbone et garantie de confort en cas de forte chaleur. La RE 2020 opérationnalise l'ACV par un jeu d'indicateurs et de données normalisées (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024). **La Belgique** mobilise des leviers économiques pour orienter les pratiques : un taux élevé de taxe d'enfouissement est identifié comme un outil puissant pour éviter la mise en décharge et orienter le marché vers des solutions alternatives (Di Maria et al., 2020). TOTEM est présenté comme un outil d'ACV matériaux au niveau

bâtiment, couvrant tout le cycle de vie et servant de cadre opérationnel pour intégrer des exigences ACV dans les marchés ((Vismara & Fransen, 2022). Au **Pays-Bas**, l'ACV y est requise depuis 2013, avec dès 2018 des valeurs limites pour 11 catégories d'impact agrégées (Tozan et al., 2024). À l'échelle de la rénovation, le pays s'est fixé un objectif de neutralité énergétique en 2050 (7,5 M de logements ; 170 000 rénovations/an), contexte propice à l'usage systématique d'ACV/LCC pour arbitrer technologies et scénarios (Zhang et al., 2021). En **Finlande**, la nouvelle approche inclut des limites carbone normatives selon les types de bâtiments avant 2025, adossées à une méthode d'évaluation et à une base d'émissions générique (Kuittinen & Häkkinen, 2020). L'**Autriche** déploie un système bonus/malus fondé sur l'ACV pour les marchés publics de bâtiments, avec un guide opérationnel, les modules A–C obligatoires, un prix carbone interne, une RBCF (Réglementation Bâtiments Consommation Faible), et la base ÖKOBAUDAT recommandée (Scherz et al., 2023). Une caractéristique du système bonus/malus fondé sur l'ACV est la présence d'un critère d'exclusion environnemental, à savoir une valeur minimale d'émissions de GES en $\text{kgCO}_2\text{eq/m}^2$ de surface nette. (Scherz et al., 2023). La réglementation d'achats (OEPA/MEAT) intègre le LCC et la prise en compte des coûts externes calculables par ACV (Scherz et al., 2023). En **Allemagne**, tous les nouveaux bâtiments fédéraux sont évalués via BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen, traduction : *Système d'évaluation de la construction durable*). L'**Italie** transpose ses exigences via un plan national de GPP/SPP (achats publics durables), mobilisant l'ACV dans la commande publique (Fregonara et al., 2022). Le **Portugal** a mis à disposition une bibliothèque d'objets BIM intégrant des indicateurs environnementaux pour faciliter l'ACV dès l'amont (Durão et al., 2019). **BREEAM** offre des incitations pour des ACV « bâtiment entier » et ces systèmes mènent des exercices de benchmarking. Le programme français « Construisons Ensemble **HQE** Performance » et la plateforme **One Click LCA** sont cités comme initiatives sectorielles soutenant la montée en puissance de l'ACV (Mattinzioli et al., 2022). À la **COP28**, 28 pays ont lancé Buildings Breakthrough pour faire des bâtiments quasi zéro émission et résilients la norme d'ici 2030 (United Nations Environment Programme, 2024). Les travaux du LCI Annual report soulignent l'institutionnalisation du cycle entier dans le secteur, et le Global Status Report 2022 observe une hausse de 19 % des certifications “green building” depuis 2020 (Life Cycle Initiative, 2024; United Nations Environment Programme, 2022). Plus d'informations sur la réglementation française et belge sont en annexe 17 et 18.

2.2.3 Les effets d'une réglementation plus stricte

Le durcissement réglementaire augmente le volume d'ACV et rehausse les exigences de traçabilité : les outils doivent intégrer des mises à jour en temps réel, des connexions BIM et des formats de rapport conformes aux exigences nationales (Campo Gay et al., 2024). L'absence de leviers réglementaires et d'incitations publiques dissuade les entreprises d'adopter à grande échelle les flux d'information BIM-ACV (Li et al., 2020). L'arrivée de nouvelles obligations convertit ce frein en demande outillée donc plus d'ACV et des livrables normalisés (Safari & AzariJafari, 2021). En Europe, le GWP médian des bureaux neufs est passé d'environ 900 à 750 $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$ (2019–2023), sous l'effet conjoint des limites réglementaires et des investissements d'efficacité énergétique (United Nations Environment Programme, 2024). Les PCR/EPD ont parallèlement harmonisé la pratique, ils ont permis de mettre un cadre sur la mise en forme et le choix des résultats à mettre en avant pour les matériaux (Mattinzioli et al., 2022).

Plusieurs obligations ont poussé des entreprises à devoir être plus pointilleuses. En France avec la RE2020, l'ACV est exigée contractuellement dès l'amont (attestation au permis de construire), ce qui équipe et structure les chaînes fournisseurs autour des données ACV (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024). Au niveau européen, les EPBD (recast 2024/1275) ont

rendu les GWP « A–D » obligatoires dans le certificat pour les > 1 000 m² dès 2028, puis tous les neufs en 2030. Cela engendre une montée en exigence sur les données, les méthodes et le reporting (BPIE, 2024). De ce fait, les exigences de performance orientent objectivement la sélection matériaux vers des alternatives moins carbonées, indépendamment du périmètre choisi (Barjot & Malmqvist, 2024). L’intégration des dynamiques bottom-up (projets réels) vs top-down (objectifs) structurent la planification et réduisent l’arbitraire dans les choix techniques (Mattinzioli et al., 2022; Tozan et al., 2024).

Des pénalités carbone opérationnelles (ex. LL97 New York) modifient la dynamique du marché et renforcent l’intérêt pour la décarbonation. Mais l’absence de règle sur le carbone incorporé montre que sans contrainte, cette partie peut rester hors du périmètre d’action (Jose Valdez Echeverria et al., 2023). Là où aucune limite contraignante n’existe, les acteurs s’organisent via des outils volontaires pour se préparer à de futures (Jorge-Ortiz et al., 2025). Cette comparaison suggère que la contrainte ou son anticipation, augmente la fréquence des ACV et renforce la rigueur des entreprises. Plusieurs travaux recommandent d’élargir le spectre d’indicateurs au-delà du seul carbone pour éviter les transferts vers la biodiversité ou l’eau (Durão et al., 2019; Tozan et al., 2024). Par ailleurs, la visibilité croissante des sujets ACV/C&D déchets dans la littérature depuis 2018 est corrélée aux politiques d’économie circulaire européennes (Giorgi et al., 2019). Enfin, la perception secteur évolue : l’adaptation aux nouvelles exigences redéfinit les standards et impose une approche de qualité du bâti plus intégrée (L’observatoire de la construction durable & Saint Gobain, 2025). Des règles ACV plus strictes produisent des effets concrets et mesurables : elles augmentent le nombre d’ACV réalisées (obligation d’étude et de reporting), améliorent la précision et élèvent l’exigence des entreprises (attestations, seuils, audits, chaîne outillée BIM-ACV) (L’observatoire de la construction durable & Saint Gobain, 2025). Les premiers gains sont visibles sur les indicateurs carbone et sur la structuration des choix (sélection des matériaux, scénarios de fin de vie, stratégies de réemploi) (Barjot & Malmqvist, 2024).

2.3 La gestion des données : les bases données, les flux entrants et sortants

2.3.1 Les bases de données

Les bases de données environnementales constituent l’infrastructure de l’ACV bâtiment : lorsqu’une base spécifique au pays est disponible, la fiabilité des résultats augmente (Kuittinen & Häkkinen, 2020). À défaut, les praticiens se replient sur des bases génériques internationales (ex. Ecoinvent), avec une incertitude contextuelle plus élevée. Cette logique est explicitée comme suit : l’étalonnage des références doit être révisé en continu au fil des progrès techniques. (Life Cycle Initiative, 2024).

Type de base	Contenu	Exemples
Spécifiques	Données réelles de fabricants	INIES (FDES, PEP), IBU.data
Par défaut (DED)	Moyennes sectorielles nationales	INIES (DED), Boverket
Génériques	Valeurs issues de la littérature ou de modèles	Ecoinvent, ICE, NIBE

Tableau 3. Les 3 principaux types de base de données (Jorge-Ortiz et al., 2025; Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024)

Afin d’avoir plus de précision concernant les données entrantes et sortantes d’un outil ACV, une recherche dans la littérature a été réalisée et se trouve dans les annexes (annexe 22).

En France, INIES fournit des déclarations vérifiées spécifiques au marché national et couvre l’ensemble du cycle de vie qu’exige la RE2020 (Ministère de la Transition écologique & Cerema,

2024; United Nations Environment Programme, 2024). En Allemagne, ÖKOBAUDAT offre un accès libre à des jeux de données produits ; dans les marchés publics autrichiens. L'application de la base de données ÖKOBAUDAT est proposée ; elle comprend actuellement environ 900 jeux de données, est conforme à l'ÖNORM EN 15804, et la vérification externe des ACV réalisées y est obligatoire (Scherz et al., 2023). En Belgique, TOTEM permet de calculer les impacts à partir de données nationales et la plateforme est mise à jour environ deux fois par an, ce qui peut modifier l'évaluation d'un projet (United Nations Environment Programme, 2024; (Vismara & Fransen, 2022). En Finlande, le Ministère de l'Environnement déploie une base ouverte et gratuite couvrant produits/matériaux, énergies, transports, chantier et déchets, afin de rendre l'ACV transparente et facile à utiliser (Kuittinen & Häkkinen, 2020). Dans les travaux méthodologiques récents, les limites "bottom-up" reposent typiquement sur ÖKOBAUDAT 2023 et sur une base générique danoise de GES pour 30 matériaux courants (Tozan et al., 2024). Ces choix de base de données se retrouvent dans les études et les différents outils. Des ACV de cas réels sont implémentées dans GaBi avec Ecoinvent v3.5 pour les processus de fond (Di Maria et al., 2020). Certains travaux opérationnels ne citent aucune base ACV tierce environnementales. Ils s'appuient plutôt sur des bibliothèques énergétiques et environnementaux déjà disponibles dans les outils (ex. Autodesk Green Building Studio) et des facteurs de coûts pour la partie économique (Kim et al., 2018). À l'inverse, d'autres démarches intègrent massivement des EPD : plus de 1 200 déclarations environnementales ont ainsi été importées pour alimenter des objets BIM portugais et mis à disposition (Lu et al., 2021). Hors climat tempéré, lorsque l'EPD régionale fait défaut, les inventaires sont complétés par Ecoinvent, y compris pour des assemblages traditionnels, ce qui fausse les données (Jorge-Ortiz et al., 2025b).

Du point de vue BIM-ACV, la granularité de données doit être synchronisée avec le niveau de développement (LOD). Une ACV au LOD 100 correspond à un screening fondé sur des données génériques. Pour la méthode d'ACV simplifiée, le niveau de détail requis se situe au-dessus du LOD 100 et en-deçà du LOD 400. En pratique, LOD 200–300 convient à une ACV simplifiée robuste, tandis que LOD 400 permet l'ACV réglementaire avec FDES/EPD spécifiques, et LOD 500 (« tel que construit ») sert aux bilans d'achèvement/exploitation (Safari & AzariJafari, 2021).

2.3.2 Les données critiques pour la qualité de l'ACV

2.3.2.1 Données jugées critiques pour la qualité d'une ACV

Les quantités mises en œuvre, la disponibilité des données, la qualité, la durée de vie de service et le profil énergétique d'usage sont les des leviers majeurs de sensibilité ; leur incertitude doit être documentée et, quand c'est possible, réduite (Kim et al., 2018; Life Cycle Initiative, 2024; Pannier et al., 2023). D'où la nécessité de facteurs d'émission normalisés pour comparer des scénarios tel que l'amélioration et la reproductibilité des différentes composantes des coefficients d'émissions (Kim et al., 2018). On note que la qualité s'améliore quand le cadre est normalisé et partagé. La Finlande dans une enquête indique que 97 % des répondants souhaitent des définitions communes de l'ACV bâtiment dans un contexte normatif (Kuittinen & Häkkinen, 2020). Mais la disponibilité de données spécifiques demeure un point dur si la déclaration environnementale n'est pas obligatoire (cas finlandais) (Kuittinen & Häkkinen, 2020). En France, pas d'obligation générale de FDES/PEP pour commercialiser un produit ; en revanche, dès qu'une allégation environnementale est faite, une déclaration conforme EN 15804 et vérifiée par tierce partie est obligatoire (décret n° 2013-1264) (Ministère de la Transition écologique, 2020). La vérification des données diminue l'incertitude et renforce la robustesse (Life Cycle Initiative, 2024). Un niveau de détail insuffisant (LOD 100), des lots secondaires manquants (équipements techniques), l'absence de géolocalisation (énergie/transport) ou des modélisations simplifiées

non validées dégradent la qualité ; il faut de la rigueur à chaque phase (Arup & World Business Council for Sustainable Development, 2023; Safari & AzariJafari, 2021). Pour objectiver la durée de vie, des tables de référence (BUILD 2021, One Click LCA) sont citées afin de rendre les calculs plus transparents (Barjot & Malmqvist, 2024).

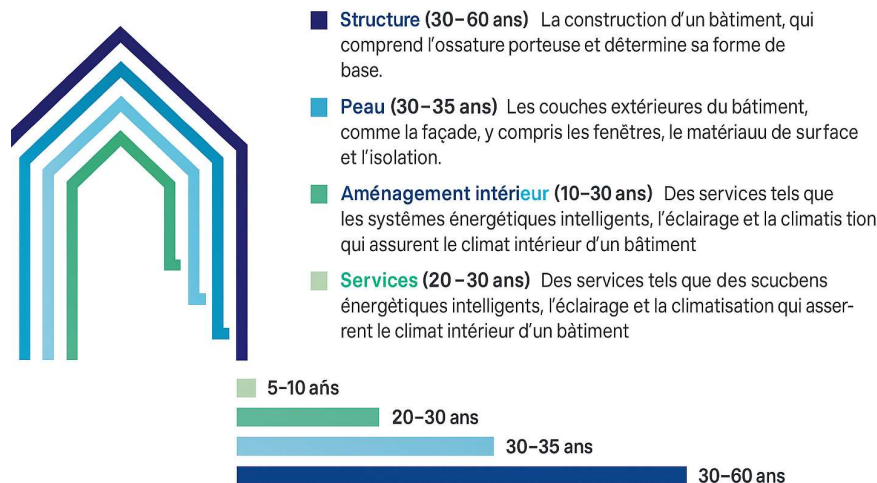


Figure 6. Building systems carbon framework, building layers (traduction: Cadre carbone des systèmes de construction, couches de construction), (Arup & World Business Council for Sustainable Development, 2023)

Le schéma de la figure 6 présente une lecture par couches du bâtiment soulignant des horizons de renouvellement très différents. En ACV, ces écarts créent de l'incertitude car ils conditionnent le nombre de remplacements, de maintenances et de rénovations à modéliser sur la période d'étude. Or les durées réelles varient selon l'usage, la qualité d'exécution, l'exposition, l'évolution des technologies et des contextes (mix électrique, filières de réemploi), ainsi que les changements d'occupation (Arup & World Business Council for Sustainable Development, 2023). Il faut noter que la durée de vie et le scénario de fin de vie sont les deux paramètres qui influencent le plus le GWP ; une hypothèse erronée peut déplacer le résultat d'environ $\pm 15\%$ (Lu et al., 2021). De plus, les frontières doivent être explicites ainsi que les éléments de bâtiment pris en compte, car dans le cas inverse toute comparaison internationale est hasardeuse (Barjot & Malmqvist, 2024).

Côté livrables, certains outils produisent un PDF conforme au niveau européen nommé Level(s), joignable au dossier de permis et pouvant être réalisé via des plateformes ACV tel que One Click LCA (Lu et al., 2021). Une analyse d'incertitude recommandée est au minimum qualitative et, pour les postes à fort effet levier, quantitative par l'ISO 14031 (ISO, 2021). Dans les comparaisons de variantes, Pannier et al. proposent d'utiliser le couple DRD/HSM :

- DRD (Distribution of Relative Differences), obtenu par bootstrap (p. ex. 10 000 simulations), produit une distribution des écarts normalisés par indicateur, lisible en box-plot ;
- HSM (Heijungs Significativity Metric) chiffre la probabilité qu'une alternative dépasse l'autre d'au moins Δ (p. ex. 5 %, 20 %). (Pannier et al., 2023)

Ce duo donne aux décideurs une lecture de robustesse plus claire qu'une métrique unique (Pannier et al., 2023). Il faut enfin définir deux seuils (fréquence *how often* et amplitude *how*

much) adaptés au contexte ; nombre de décideurs redoutent que l'analyse d'incertitude fasse basculer les conclusions, d'où l'importance d'un reporting pédagogique (Pannier et al., 2023). Enfin il peut être intéressant de s'attarder sur les 15 facteurs les plus influents identifiés par le criblage MA-Morris. Cela permet de concentrer les premiers efforts sur la qualité et l'analyse de ces facteurs, qui ont un poids important dans l'impact de l'évaluation. Le tableau est disponible en annexe 16.

2.3.2.2 Absence ou imprécision des données : extrapolations risquées

Pour « éviter les écarts de précision et les incertitudes dans les résultats », certains travaux appliquent des valeurs par défaut d'émissions de GES pour les installations techniques (Tozan et al., 2024). Des valeurs tabulaires prédéfinies sont aussi utilisées dans des systèmes d'évaluation, ce qui simplifie mais approxime l'inventaire (Kuittinen & Häkkinen, 2020). En France, la RE2020 autorise des « lots forfaitaires » qui remplacent le calcul détaillé de certains sous-lots (Ministère de la Transition écologique, 2021) et peuvent entraîner une surestimation ou une sous-estimation des impacts (Campo Gay et al., 2024). En l'absence de jeux locaux, des études extrapolent à partir de pays voisins ou de moyennes européennes (Khadim et al., 2025). En Flandre, des moyennes d'autres régions issues de la littérature ont été utilisées (Di Maria et al., 2020). À l'échelle globale, le déficit de bases nationales contraint à extrapoler depuis l'étranger, avec des risques d'erreurs dus aux différences de technologie, de mix énergétique et de chaînes d'approvisionnement (United Nations Environment Programme, 2022). Quand un matériau manque en base, les concepteurs le remplacent par le « plus proche voisin » : l'erreur de proxy se traduit en moyenne par + 8 % sur le GWP (Safari & AzariJafari, 2021). Dans le contexte colombien, faute d'EPD locales, l'inventaire a été complété par des EPD brésiliennes et mexicaines, ce qui peut fausser l'évaluation (Jorge-Ortiz et al., 2025b). Afin de fournir des résultats viables, les simulations doivent donc tenir compte du climat et des conditions locales, sinon les flux opération sont biaisés et le choix des matériaux inadapté (Kim et al., 2018).

Il est aussi possible de se trouver face à une couverture incomplète et des périmètres hétérogènes, plus ou moins contraignants. Des cas d'étude excluent des modules clés : B6 (énergie d'usage), B7 (eau) ou C1 (déconstruction) (Barjot & Malmqvist, 2024; Khadim et al., 2025). Conformément à EN 15978, des petites quantités (< 3 %) sont exclues, mais les faibles masses à fort impact (colles, adhésifs) sont incluses (Khadim et al., 2025). Il y a donc une attention particulière à faire afin de ne pas exclure des données qui restent influentes. Il faut tout de même noter que la durée de vie et le scénario de fin de vie sont les deux paramètres qui influencent le plus le GWP ($\approx \pm 15\%$ si l'hypothèse est erronée) (Lu et al., 2021). La fiabilité de certains registres nationaux est imparfaite : des erreurs ou manques sont constatés, tel que dans la base de données BBR (Tozan et al., 2024). Plus largement, une ACV crédible doit prendre en compte l'incertitude pour mettre en lumière les lacunes (Ghattas et al., 2016). Les recommandations méthodologiques imposent : représentativité géographique/ temporelle, analyse de qualité, et, pour les grands jeux, priorité aux données primaires (Mattinzioli et al., 2022).

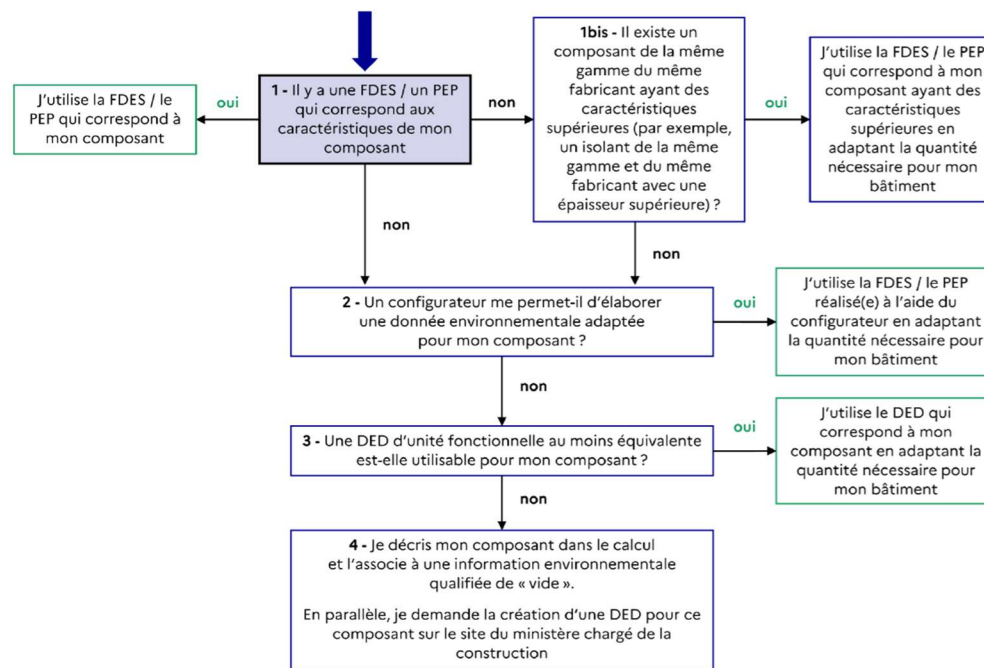


Figure 7. La hiérarchie de sélection des données environnementales, source: guide de la RE2020 final (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024).

Ce schéma (figure 7) formalise la hiérarchie de sélection des données environnementales : d'abord la FDES/PEP exactement correspondante jusqu'à une donnée « vide » (proxy) avec demande de création de DED. Il montre bien la méthode réellement suivie en projet : on descend étape par étape vers des jeux de données de moins en moins spécifiques lorsque l'information manque. Le manque de standards se traduit par des bases hétérogènes, des liens manuels IFC avec une base de matériaux et seul un processus partiellement automatisé est possible lié au manque de normalisation. Le tout avec une perte de temps et un risque d'erreur (Bartels et al., 2023; Kim et al., 2018). et des formats de sortie divergent (ex. DGNB/Minergie-ECO en valeurs numériques vs BREEAM en niveaux A+–E) (Mattinzioli et al., 2022). Plus grave, lorsque la base n'offre pas de valeur, un '0' est affecté automatique. On passa alors de 0 à 100, sans atténuation si une donnée est absente, et cela ne signifie pas pour autant qu'elle n'existe pas. (Bartels et al., 2023).

Enfin, côté LCC, les données économiques sont volatiles et souvent incomplètes : de nombreuses études n'intègrent que CAPEX + OPEX énergie, excluant amortissement, taxes et valeur résiduelle, d'où cela représente– 12 % d'estimation dans un cas test (Lu et al., 2021). Les frontières et règles de calcul "équivalentes" comportent un risque de double comptage ; la structure LCC doit différer de celle de l'ACV mais doit être menée en parallèle (Heijungs et al., 2013). La littérature rappelle enfin l'absence de standards unifiés et l'incomplétude des bases de coefficients, qui limitent la comparaison et la reproductibilité (Li et al., 2020). La chaîne coût-impact demeure un chantier ouvert (Kim et al., 2018).

2.3.2.3 Facteurs aggravant l'incertitude des résultats ACV

Les premières sources d'incertitude résident dans l'inventaire issu du BIM. D'une part, *des erreurs dans les quantités extraites du BIM ou une mauvaise identification des matériaux peuvent affecter significativement les résultats* (Campo Gay et al., 2024). D'autre part, l'absence de métadonnées et de formats homogènes mène encore à des chaînes de traitement partiellement manuelles, ce qui accroît les risques d'erreurs et limite l'automatisation (Bartels et al., 2023; Li

et al., 2020). À cette fragilité des flux d'entrée s'ajoute l'hétérogénéité des données produits. Les EPD d'un même matériau peuvent diverger fortement. La variation des valeurs de densité entre les EPD ($\pm 25\%$) constitue le principal problème de qualité des données observé pour le béton. Pour un mur en C25/30, ce simple écart de densité fait varier le GWP d'environ $\pm 12\%$, notamment à cause d'unités de référence disparates qui imposent des conversions et des hypothèses sur l'armature (Lu et al., 2021). Les choix méthodologiques amplifient ensuite l'incertitude. Des approches différentes sur l'allocation de fin de vie (ex. 0–100) peuvent surestimer la recyclabilité future ; les pondérations entre catégories restent controversées car elles requièrent un jugement subjectif (Hoogmartens et al., 2014; Khadim et al., 2025). En économie circulaire, certaines solutions « fermées » peuvent devenir plus énergivores (recyclage, usage), un compromis que des indicateurs centrés « matière » capturent mal (Brändström & Saidani, 2022). La manipulation et choix d'évaluation influence aussi les résultats. Trois perspectives structurent les choix : I (court terme, impacts indiscutés, optimisme technologique), H (principes politiques courants), E (précaution maximale, horizons longs). Elles influencent les passages midpoint à endpoint et certaines hypothèses des modèles endpoint (Goedkoop et al., 2013). Ces choix doivent être déclarés pour assurer la reproductibilité. Les approches bottom-up sont dépendantes des cas retenus : la valeur de référence n'est pas indépendante de l'échantillon, avec risque de biais si l'on choisit intentionnellement des projets « favorables » (Tozan et al., 2024). Enfin, la gouvernance des données et les contrôles conditionnent la robustesse (Life Cycle Initiative, 2024). La RE2020 tente d'y répondre via des attestations et des indicateurs réglementaires qui verrouillent et suivent l'ACV dès l'amont et au dépôt final (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024). Pour la priorisation, les travaux récents recommandent de concentrer l'amélioration de la caractérisation d'incertitude sur les ~15 facteurs dominants, avant l'analyse globale à l'échelle de projet (Pannier et al., 2023).

<i>Catégorie</i>	<i>Exemples cités</i>	<i>Impact sur l'incertitude</i>
Paramètre	Quantité de béton, densité isolant, durée de vie toiture	$\pm 20\%$ sur GWP bâtiment
Scénario	Mix électrique futur, taux de recyclage CDW	Variation directionnelle — peut inverser le choix de l'alternative
Modèle	Périmètre A1-A5 vs A-C, méthode LCIA (CML vs ReCiPe)	Jusqu'à 30 % d'écart sur résultat final
Donnée manquante	EPD absente → data Ecoinvent générique	Biais systémique non quantifié

Tableau 4. Eléments de l'ACV et leur impact sur les incertitudes, source : (Barjot & Malmqvist, 2024; Pannier et al., 2023)

Les réponses opérationnelles suivent : standardiser formats et métadonnées, verrouiller unités/UF/frontières, compléter les phases C–D au lieu d'utiliser des « 0 », tester la sensibilité aux conventions, et cibler les facteurs dominants par des mesures et des Monte-Carlo transparents. Cela fait écho à la shortlist citée dans le tableau des 15 facteurs les plus influents identifiés par le criblage MA-Morris dans les annexes (annexe 16) (Pannier et al., 2023).

2.3.3 Les pistes d'amélioration pour la bonne gestion des données

L'absence de collecte centralisée freine la mise à jour des facteurs et l'alignement réglementaire (Röck et al., 2022; Tozan et al., 2024). La piste à exploiter est celle de mettre en place des gouvernances de la donnée robustes : politique et stratégie data, dictionnaire unique, inventaire des jeux, métadonnées, documentation des méthodes et du code pour la reproductibilité, gestion de la confidentialité et de la montée en volume/vitesse (Witt & Blaschke, s. d.). Cela passe aussi par assurer la représentativité spatiale/temporelle, réviser les facteurs, auditer les jeux de données et tracer les incertitudes (Mattinzioli et al., 2022). Un axe est aussi de venir automatiser le mappage des bases et harmoniser les unités/flux de référence. Les tables de correspondance

communes entre bases réduisent le temps d'appariement manuel de 70 % (Safari & AzariJafari, 2021). À coupler avec un passage semi-automatisé et une validation utilisateur pour éviter les erreurs silencieuses lorsque la normalisation est incomplète (Bartels et al., 2023). En complément, le processus doit être encapsulé dans une chaîne intégrée reliant (1) le modèle BIM, (2) les simulations énergétiques et environnemental et (3) l'analyse de faisabilité économique, afin d'articuler impacts opérationnels et coûts (Kim et al., 2018). Pour sécuriser les saisies et l'usage non-expert, il convient d'intégrer des modules de « default data » (Athena, eToolLCD), de fournir des outils ACV BIM-based et user-friendly pour les acteurs AEC (Giorgi et al., 2019; Jorge-Ortiz et al., 2025a). Enfin, en esquisse, recourir à une approche sous-spécification structurée et triage probabiliste pour gérer intelligemment les données manquantes (Jorge-Ortiz et al., 2025a). L'implication précoce et poussée des consultants améliore les performances obtenues (Leffel, 2022).

2.4 Périmètre d'application : différentes échelles et différents secteurs

2.4.1 Les outils

L'offre logicielle pour l'ACV bâtiment va des calculateurs « screening » aux plates-formes avancées intégrées au BIM capables de couvrir l'ensemble du cycle de vie (United Nations Environment Programme, 2022). Dans les études comparatives récentes, les suites ACV généralistes restent la base des évaluations détaillées (Jorge-Ortiz et al., 2025a). Les auteurs soulignent que l'usage de logiciels d'ACV offre ainsi l'approche la plus « clé en main » pour calculer les impacts et générer des référentiels de comparaison (Mattinzioli et al., 2022). Une revue comparative des outils ACV/LCC montre que la plupart évaluent la performance environnementale des bâtiments, mais seuls Athena, Tally et TOTEM intègrent aussi l'analyse des coûts sur le cycle de vie. Les transports sont peu considérés, ce qui peut biaiser les résultats dans des contextes à fortes distances logistiques (ex. Colombie). La restitution est le plus souvent graphiques + tableaux, segmentée par phases EN 15804 et par catégories d'impact ; le détail par élément ou groupe de matériaux reste moins courant, et OneClickLCA est le seul à offrir de vrais scénarios d'amélioration (Jorge-Ortiz et al., 2025). L'ensemble de ces données est regroupé dans un tableau qui regroupe les outils ACV situé en annexe 10.

Dans plusieurs pays, les cadres réglementaires stimulent la demande et structurent l'écosystème d'outils ACV. Au Danemark, LCAbyg 2023 (v5.3.1.0) implémente la méthodologie et génère en un clic le rapport de conformité (Tozan et al., 2024). En France (RE2020), l'usage d'INIES et de moteurs alignés sur EN 15804 est promu pour la conformité, avec des guides et formats fournis par les pouvoirs publics (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024). À Singapour, le label Green Mark s'appuie sur des outils ACV/énergie pour soutenir la conception de bâtiments durables (Leffel, 2022). Enfin, dans la commande publique, Smart-SPP (LCC-CO₂) outille le dialogue d'achat pour introduire des technologies bas-carbone et comparer coûts/impacts avant, pendant et après l'appel d'offres (Fregonara et al., 2022). La littérature examinée ne décrit pas les modèles économiques des outils (licences, forfaits, coûts horaires), et traite peu le rôle opérationnel des industriels/autorités dans la fourniture systématique d'EPD ou la validation réglementaire, un manque identifié pour de futures recherches.

2.4.2 Les secteurs impactés

La littérature et les politiques autour de l'ACV se concentrent très majoritairement sur le secteur du bâtiment (Mattinzioli et al., 2022). En Europe, la régulation du carbone opérationnel et incorporé s'impose d'abord aux bâtiments non résidentiels (notamment les bureaux) en Suède et au Danemark (United Nations Environment Programme, 2022). Il faut prendre en compte aussi

l'importance du résidentiel dans le parc immobilier. Par exemple, les typologies résidentielles représentent environ 68 % des surfaces habitables construites et environ 93 % du parc danois. En conséquence, il est recommandé d'élever l'ambition des valeurs-limites pour ce segment afin d'obtenir des réductions de GES significatives (Tozan et al., 2024). Les immeubles de bureaux sont au cœur des débats nationaux sur les seuils carbone ; 62 % des projets suédois évalués en 2022 concernent des bureaux (Tozan et al., 2024). Les schémas volontaires (LEED, BREEAM) et les labels nationaux stimulent également la demande d'ACV « whole-life » pour les bâtiments commerciaux (United Nations Environment Programme, 2022). Dans les entreprises disposant d'équipes R&D ou environnement, l'ACV est de plus en plus intégrée au BIM via des scripts internes pour tester rapidement des variantes, puis auditée par un bureau d'études externe en phase de conformité réglementaire (Life Cycle Initiative, 2024). Les plateformes SaaS diffusent ces pratiques auprès d'un public plus large : connexion native aux bases nationales, génération automatique des rapports réglementaires et travail collaboratif à distance (United Nations Environment Programme, 2024). Leur adoption reste toutefois freinée dans les pays émergents par le coût des licences et l'insuffisance de données locales intégrées. Les collectivités et organismes publics utilisent fréquemment leurs bâtiments comme projets pilotes pour acculturer les acteurs aux méthodes ACV et structurer l'offre locale (Life Cycle Initiative, 2024).

2.4.3 Les offres d'ACV sur le marché

Le marché des ACV bâtiment s'organise autour de trois canaux complémentaires :

1. Des solutions internes (scripts/plugin, interfaces "maison"),
 2. Des prestations de bureaux d'études (simulation + conseil),
 3. Des plateformes SaaS d'ACV (publiques ou privées) orientées conformité et reporting.
- Dans la pratique, les projets combinent souvent deux (Campo Gay et al., 2024).

Beaucoup d'organisations structurent un outillage ACV en interne pour gagner en réactivité, maîtriser les hypothèses et réduire les coûts d'externalisation. Par exemple, une société a développé son propre outil (ConFigo) afin d'internaliser les ACV et économiser, tout en fiabilisant les données et les interfaces avec le BIM (Campo Gay et al., 2024). Campo Gay et al. décrivent le mix de canaux (interne - bureau d'études - plateforme) comme un schéma courant sur les projets. Côté technique, ces solutions prennent souvent la forme de scripts Python, d'add-ins Revit pour automatiser l'export et les appels API. L'avantage est la souveraineté des données, les boucles d'itération rapides en avant-projet, une meilleure continuité BIM-ACV-LCC. Cela nécessite une validation externe en marché réglementé (Bartels et al., 2023).

Les bureaux d'études environnement restent le référent pour :

- Les simulations détaillées (scénarios matériaux/énergie, sensibilité),
- L'optimisation techno-économique (chaîne « énergie + coût »),
- La production des dossiers de conformité (contrôles, attestations).

Dans plusieurs retours d'expérience, les calculs "manuels" de BE servent d'étalon pour vérifier la précision des nouveaux outils internes avant généralisation (Campo Gay et al., 2024; Kim et al., 2018). Les plateformes cloud permettent de réaliser des ACV bâtiment en injectant les quantitatifs puis en leur associant les jeux de données environnementales au moyen de tables de correspondance. Beaucoup d'outils embarquent ou proposent ces mapping tables (unités, flux de référence, codes matériaux), ce qui réduit le rapprochement manuel et fiabilise l'affectation des facteurs d'impact. Un travail méthodologique montre qu'une table de correspondance

commune pour harmoniser unités/flux réduit de ~70 % le temps d'appariement manuel entre bases. (Safari & AzariJafari, 2021).

2.4.4 Les acteurs de l'ACV dans la construction

Dans les projets bâtiment, la production d'une ACV mobilise un écosystème d'acteurs : architectes et concepteurs, métreurs/économistes, bureaux d'études environnement (BE), maîtres d'ouvrage/AMO, développeurs d'outils et, en amont de la donnée, industriels via les EPD. Cette organisation « en couches » est bien décrite par le schéma d'interactions où un même acteur peut tenir plusieurs rôles selon les phases (Campo Gay et al., 2024). Ce schéma met en avant les différents rôles et interactions plus particulièrement au sein des entreprises.

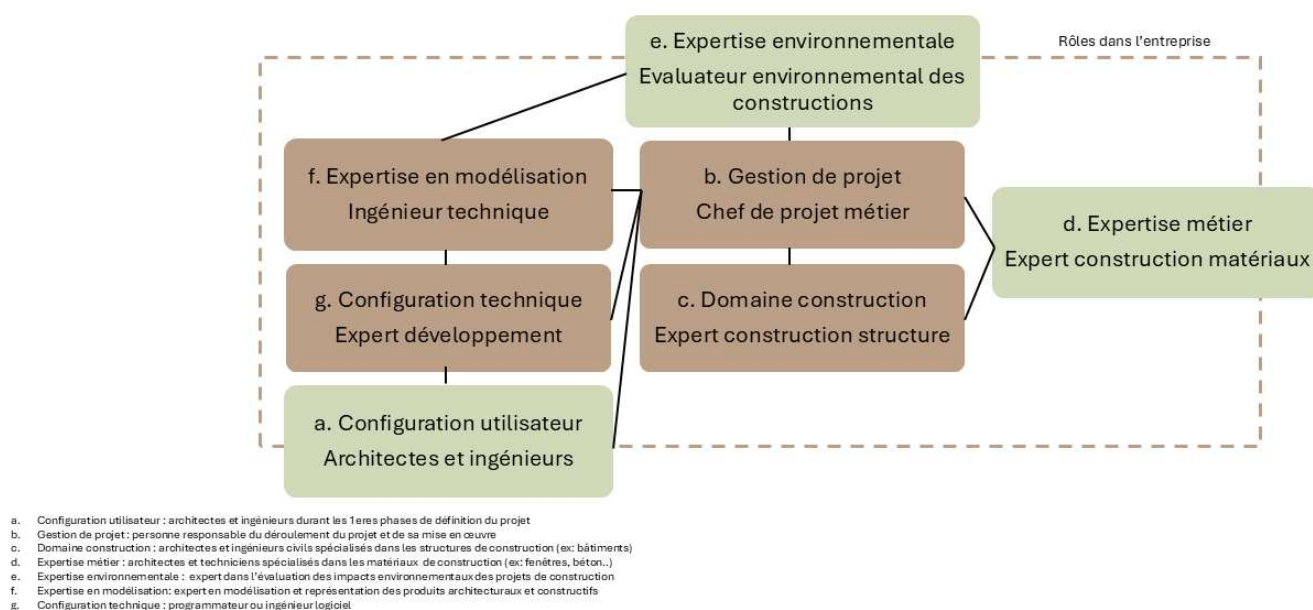


Figure 8. Vue d'ensemble des rôles et des interactions dans le développement de projet (les rôles superposés indiquent plusieurs acteurs et les grappes grises indiquent un seul acteur cumulant plusieurs rôles), source : A digital tool for LCA in construction projects, (Campo Gay et al., 2024)

Une partie de la littérature reste centrée sur concepteurs/développeurs, avec une sous-visibilité des économistes, fabricants et pouvoirs publics (Bartels et al., 2023; Li et al., 2020). Des tensions apparaissent quand rôles et coûts ne sont pas clarifiés dans les collectivités (Leffel, 2022). Les flux d'information restent fragmentés entre étapes et la standardisation demeure un chantier majeur (United Nations Environment Programme, 2024). Enfin, seuls ~ 30 % des projets disposent d'un responsable ACV dédié, avec chevauchement des responsabilités avec la coordination BIM (Lu et al., 2021).

COMPETENCE / THEME	POINTS CLES	ARTICLES CITES
ARCHITECTES ET CONCEPTEURS : LA PREMIERE IMPULSION ENVIRONNEMENTALE	<ul style="list-style-type: none"> Outils ciblant des concepteurs non-experts pour intervenir dès l'esquisse et responsabiliser la MOE. Scientométrie : domination du couple BIM & design. Démarches de performance co-construites avec les concepteurs (environnemental, social, économique). 	(Campo Gay et al., 2024; Kiani Mavi et al., 2021; Lehmann et al., 2011; Li et al., 2020; Lu et al., 2021; Ministère de la Transition

	<ul style="list-style-type: none"> • Besoin de former les chefs de projet à la « conception durable ». • Cartes GWP (One Click LCA) pour comparer façades/variantes en conception et guider les choix architecturaux. • En France, RE2020 : attestation à la conception puis validation à la livraison. 	écologique & Cerema, 2024)
ÉCONOMISTES & METREURS : LA RIGUEUR DES QUANTITATIFS	<ul style="list-style-type: none"> • Qualité des quantités = robustesse de l'ACV ; masses/métrés fournis par les métresseurs. • Écarts de volumes/surfaces expliquent des différences majeures entre calculs manuels et résultats modélisés. • Plug-ins BIM : alertes en cas d'écart entre quantitatifs « métresseur » et « maquette ». • BoM = ossature du LCI ; entrées « projet » (CCTP, DPGF) produites par les économistes. • Contraintes budget/délais → contrôle croisé & analyses de sensibilité ; référence RE2020. 	(Campo Gay et al., 2024; Jorge-Ortiz et al., 2025; Khadim et al., 2025; Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024; Safari & AzariJafari, 2021)
BUREAUX D'ETUDES ENVIRONNEMENTAUX : EXPERTS DE L'IMPACT	<ul style="list-style-type: none"> • Paramétrage méthodologique, recommandations ACV/LCC au MOA, conformité. • Conseil (optimisation coûts-carbone) et tiers de confiance lorsque requis par la réglementation. • En achat public : vérification externe & appui conseil encouragés. • Compétences parfois internalisées par des villes ou externalisées à des BE privés. 	(Ahmed et al., 2024; Fregonara et al., 2022; Jorge-Ortiz et al., 2025; Kim et al., 2018; Leffel, 2022; Lu et al., 2021)
MAITRES D'OUVRAGE & AMO : CADRER ET INTERPRETER	<ul style="list-style-type: none"> • Définissent le cadre d'évaluation, lisent les résultats pour décider. • Marchés publics : ACV critère d'attribution (bonus/malus en 7 étapes), tableaux LCC pondérant coût/CO₂, sensibilités. • Privé : objectifs CO₂, alignement stratégies (ex. « Carbone 2030 »), usage de sorties visuelles. • Implication des parties prenantes = décisions plus robustes. • Feuille de route carbone pluriannuelle (ex. 27 ans) pour guider l'investissement. 	(Campo Gay et al., 2024; Fregonara et al., 2022; Kim et al., 2018; Lehmann et al., 2011)
INDUSTRIELS & FABRICANTS : PRODUIRE LES DONNEES SOURCES	<ul style="list-style-type: none"> • Production/maintenance d'EPD (FDES/PEP/DED) génériques/spécifiques, vérifiées tierce partie. • Source des facteurs d'impact pour logiciels/bases nationales ; intégration devenue systématique. 	(Campo Gay et al., 2024; Mattinzioli et al., 2022; Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024)
DEVELOPPEURS D'OUTILS ACV : SOUTIEN AUX UTILISATEURS	<ul style="list-style-type: none"> • Architectes des données/flux : intégration BIM-ACV/LCC, semi-automatisation avec validation utilisateur, acculturation des praticiens. • Interfaces accessibles ; comparatifs (ex. One Click LCA : offsite/onsite/conventionnel). 	(Alshamrani, 2022; Bartels et al., 2023; Giorgi et al., 2019; Vismara & Fransen, 2022)

	<ul style="list-style-type: none"> Garantie d'alignement réglementaire/local ; exemple de soutien national (TOTEM + helpdesk). 	
LABELS, OUTILS & INITIATIVES	<ul style="list-style-type: none"> Rôle d'orienteurs de marché : objectifs opérationnels & benchmarks lisibles ; alignent pratiques locales ; conditionnent parfois le financement. BREEAM, DGNB, LEED, HQM structurent la décision des MOA/investisseurs. TOTEM = chaînon entre données standardisées, outil national et usages de marché. Effets attendus : feu vert managérial, réduction asymétries d'information, demande tirée par la commande publique. 	(Ahmed et al., 2024; Kiani Mavi et al., 2021; (Vismara & Fransen, 2022)
CRIRIAUTORITES PUBLIQUES : DE L'OUTILLAGE A L'OBLIGATION	<ul style="list-style-type: none"> Cadre UE = moteur d'obligation & transparence → accélère l'adoption. EPBD recast : vers divulgation obligatoire du carbone cycle de vie. Taxonomie UE : transparence des méthodes/hypothèses. États publient des calculateurs open-source pour PME (ex. Norvège, Nouvelle-Zélande). En GPP : transparence des critères & consultation marché indispensables. 	(Ahmed et al., 2024; Kiani Mavi et al., 2021; Mattinzioli et al., 2022; Safari & AzariJafari, 2021; United Nations Environment Programme, 2022)
ENTREPRISES : USAGE ACTIF DES DONNEES & SIGNAUX PRIX	<ul style="list-style-type: none"> Transformation des données ACV & contraintes économiques en décisions de conception/achat. Intégration des résultats ACV dans les maquettes BIM pour orienter la conception. Avec valeurs-limites/taxe carbone : ACV = outil d'économie & de maîtrise du risque. Responsabilisation étendue à toute la chaîne (fournisseurs/sous-traitants). 	(Campo Gay et al., 2024; Tozan et al., 2024; United Nations Environment Programme, 2022)

Tableau 5. Les métiers impliqués

2.4.5 Les compétences nécessaires

L'ACV demande de mobiliser différentes compétences qui sont listées dans le tableau suivant. Cette liste n'est pas exhaustive.

COMPETENCE / THEME	POINTS CLES	ARTICLES CITES
CONNAITRE LES IMPACTS ET LA REGLEMENTATION	<ul style="list-style-type: none"> Alignement des calculs sur EN 15978 et EN 15804 pour des résultats comparables. Prise en compte des cadres européens (EPBD recast, taxonomie) et maîtrise des catégories d'impact midpoint/endpoint, pas seulement le GWP. Paramétrage rigoureux des scénarios (période de référence, unité fonctionnelle, décarbonation du B6 selon EN 15643 et politiques publiques) pour éviter les biais énergie/matériaux. ACV chronophage : nécessité d'appui d'experts et de formation. 	(Ahmed et al., 2024; Hoogmartens et al., 2014; Jose Valdez Echeverria et al., 2023; Kambanou & Sakao, 2020; Tozan et al., 2024)

	<ul style="list-style-type: none"> • En amont : usage possible de valeurs par défaut (lots/fin de vie) si documentées puis remplacées par des données mesurées. • GPP : compromis complexité/temps, besoin d'accompagnement. 	
CAPACITE A COLLECTER ET STRUCTURER LES DONNEES	<ul style="list-style-type: none"> • « Fabrique » de données : extraire, qualifier, relier, tracer. • Correspondance entre objets BIM, EPD et bases nationales ; connaissance des méthodes LCIA. • BOM/nomenclature comme porte d'entrée des inventaires (masses, matériaux, impacts incorporés). • Contrôle qualité des données (représentativité, traçabilité) surtout en mixant données primaires/secondaires. • Gouvernance data : stratégie, standards, dictionnaire unique, inventaire, métadonnées, documentation des méthodes/codes pour reproductibilité/audit. • Enrichissement des inventaires via EPD et données publiques nationales si bases locales incomplètes. 	(Durão et al., 2019; Jorge-Ortiz et al., 2025; Khadim et al., 2025; Mattinzioli et al., 2022; Witt & Blaschke, s. d.)
STATISTIQUES ET GESTION DE L'INCERTITUDE	<ul style="list-style-type: none"> • Sélection (screening), échantillonnage Monte-Carlo et documentation de la propagation d'incertitude pour les comparatives ACV. • À l'échelle portefeuille : précision des densités/quantités et marges. • Choix de scénarios : source majeure d'incertitude à expliciter. 	(Bartels et al., 2023; Pannier et al., 2023; Tozan et al., 2024)
MAITRISE DES LOGICIELS ET OUTILS NUMERIQUES	<ul style="list-style-type: none"> • Outils courants : SimaPro/Ecoinvent, GaBi, One Click LCA + bases nationales. • Workflows : Revit/IFC pour quantités, moteur énergétique si besoin (ECOTECT/EnergyPlus), plateforme ACV pour restitution. • Qualité dépend d'EIR clairs et d'une modélisation de haute qualité. 	(Alshamrani, 2022; Bartels et al., 2023; Mattinzioli et al., 2022)
LECTURE ECONOMIQUE (LCC) ET ARBITRAGE	<ul style="list-style-type: none"> • Coupler ACV et LCC : CAPEX/OPEX, remplacements, fin de vie, actualisation, sans double comptage. • Possibles orientations différentes ACV vs LCC : besoin d'arbitrage environnement/économie. • Achat public : exiger tableaux LCC et analyses de sensibilité. 	(Fregonara et al., 2022; Hoogmartens et al., 2014)
INTERPRETATION, RESTITUTION ET DIALOGUE	<ul style="list-style-type: none"> • Choisir le bon niveau d'agrégation (méta-indicateur/étiquettes vs détail expert). • ISO 21678 : distingue limite, référence, cible pour cadrer la décision. • Transparence sur hypothèses/préférences en interprétation. • Gestion de projet : intégrer durabilité dans les fonctions PM ; concertation marché en achat public pour clarifier les exigences « vertes » et stimuler l'innovation. 	(Ahmed et al., 2024; Carlsson Reich, 2005; Jorge-Ortiz et al., 2025; Mattinzioli et al., 2022)
COMPETENCES TRANSVERSALES ESSENTIELLES	<ul style="list-style-type: none"> • Culture interdisciplinaire : conception, ACV, thermique, économie ; rôle des métresseurs/ACVistes/thermiciens coordonnés. • Soft skills pour arbitrer coût-délais-qualité-carbone. 	(Campo Gay et al., 2024; Martens & Carvalho, 2016;

- Rôle pivot de « modeling knowledge expert » pour traduire les savoirs métiers en modèles exécutables.

Safari & AzariJafari, 2021)

Tableau 6. Les compétences développées

2.4.6 L'ACV, un outil multicritère

Parce qu'elle couvre l'ensemble du cycle de vie et plusieurs familles d'impacts, l'ACV dépasse très largement la « simple » empreinte carbone. Par construction, elle agrège des catégories ce qu'un indicateur carbone unique ne saisit pas. (Brändström & Saidani, 2022; Khadim et al., 2025). Cette nature multicritère est particulièrement visible quand on cherche le point d'équilibre entre carbone incorporé et carbone opérationnel : épaissir l'isolant abaisse l'un mais peut relever l'autre. Arup et WBCSD illustrent ce compromis et l'ACV permet de situer ce point d'équilibre pour un projet donné (Arup & World Business Council for Sustainable Development, 2023)

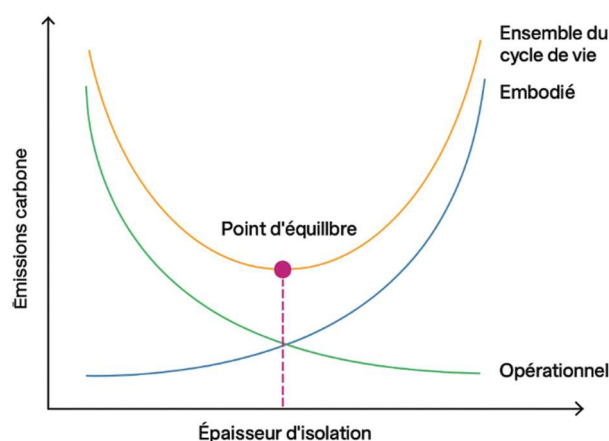


Figure 9. Point d'équilibre entre le carbone opérationnel et incorporé (Arup & World Business Council for Sustainable Development, 2023)

L'ACV permet aussi de croiser impacts et coûts. Les décisions réelles sont arbitrées sur deux axes : performance environnementale et performance économique. À l'échelle des projets, des tableaux de bord combinés classent les variantes simultanément par émissions et par coût actualisé, ce qui évite de consulter deux tableaux disjoints. Les études montrent d'ailleurs que le classement change dès qu'on ajoute l'euro au CO₂ : jusqu'à 17 % des alternatives inversent leur rang quand on passe d'un critère unique (GWP) à un couple GWP + coût actualisé net (Bartels et al., 2023; Hoogmartens et al., 2014; Lu et al., 2021). Les courbes de compromis montrent par ailleurs que l'option la plus « bas-carbone » n'est pas toujours la moins énergivore (Larsen et al., 2022). La circularité n'est pas non plus un absolu : plus de circularité réduit souvent le climat et l'épuisement fossile, mais peut augmenter certaines toxicités (Khadim et al., 2025). Seul un tableau de bord ACV multicritère évite les fausses bonnes idées (Khadim et al., 2025). Le revers du multicritère, c'est la densité de données requise. Plusieurs guides de mise en œuvre LCC reconnaissent qu'ils n'intègrent pas l'ACV « faute d'entrées suffisantes », tout en rappelant qu'elle a bien été réalisée en parallèle pour évaluer les offres (Kambanou & Sakao, 2020).

L'ACV, parce qu'elle permet des analyses multicritères, l'ACV est vu comme une opportunité. Du côté des décisions publiques, des dispositifs vont jusqu'à fixer des seuils d'exclusion sur les GES (bonus/malus ACV en achat public), ce qui institutionnalise l'usage d'un tableau de bord ACV+LCC pour départager les offres (Scherz et al., 2023). Des systèmes d'aide à la décision ACV+LCC deviennent courants et, dans les pratiques avancées, on voit apparaître des tableaux de bord ajoutant une couche S-LCA pour les enjeux sociaux (Life Cycle Initiative, 2024). Les

tableaux de bord combinés montrent au contraire les vrais compromis : par exemple, une réduction de 9 % du GWP pour +4 % de coût peut être acceptable si elle sécurise la trajectoire réglementaire et le risque carbone (Giorgi et al., 2019; Jorge-Ortiz et al., 2025).

2.5 Les pistes d'optimisation

2.5.1 L'ACV dans les prémices des projets

L'état de l'art montre un déplacement clair d'une ACV surtout rétrospective vers une ACV prospective qui éclaire les décisions de conception avant figement. Le papier de Campo Gay et al formule explicitement cet objectif et démontre la bascule avec l'outil ConFigo, pensé pour la phase amont où les ACV sont encore rarement utilisées à cause de leur complexité et du manque d'intégration (Campo Gay et al., 2024). Cette orientation rejoint le cadre français : la RE2020 impose une ACV avant le début des travaux puis un contrôle ex-post de cohérence des données clés (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024). Dans la littérature, on distingue bien les deux logiques : diagnostics rétrospectifs (sur parcs existants, données de projets et systèmes d'évaluation comme DGNB/BREEAM) et ACV de conception pour comparer des variantes neuves (Mattinzioli et al., 2022; Safari & AzariJafari, 2021).

L'avantage de faire une pré-ACV au début du projet est d'influencer les choix précoces qui conditionnent la trajectoire énergétique et carbone de tout le cycle de vie. Le Global Status Report 2022 rappelle que les décisions prises aux premiers stades influencent toutes les phases suivantes et la demande d'énergie, et promeut des mesures de construire moins ou de concevoir des ouvrages plus durables (United Nations Environment Programme, 2022). Concrètement, une ACV de conception a permis d'écarter une variante en béton lourd et de gagner 41 kg CO₂e/m² (Tozan et al., 2024). Il est possible de poser un budget carbone dès le brief. Dans ConFigo, le maître d'ouvrage fixe un -40 % d'émissions et l'outil sert de levier stratégique pour aligner la conception sur l'objectif (Campo Gay et al., 2024). Ensuite en itérant avec un couple BIM-ACV, souvent couplé au LCC, il est possible de générer des tableaux multicritères pour explorer la performance économique d'options structurelles dès l'amont (Jorge-Ortiz et al., 2025; Lu et al., 2021).

L'ACV de conception sert aussi à reposer la question « construire ou pas ». Les revues sur la rénovation montrent qu'une stratégie « rénover plutôt que reconstruire » peut réduire l'empreinte à moins d'un quart de celle d'un bâtiment neuf de performance similaire, principalement parce qu'elle évite des matériaux neufs (Giorgi et al., 2019). Pour éviter des émissions, il faut parfois construire moins, recourir à des approches circulaires et mieux récompenser l'évitement dans les systèmes de notation (United Nations Environment Programme, 2022). En résumé, l'ACV appliquée dès l'esquisse devient un outil décisionnel multicritère : elle oriente les formes, systèmes et stratégies (rénover/adapter/réemployer), sécurise un budget carbone compatible avec la réglementation, et évite les transferts d'impacts (Campo Gay et al., 2024; Mattinzioli et al., 2022; Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024; Pannier et al., 2023; United Nations Environment Programme, 2022).

2.5.2 L'interprétation des résultats : une étape clés

L'interprétation transforme des chiffres en décisions. Dès qu'elle est reliée à des règles du marché (seuils, contrats, achats), l'ACV cesse d'être un simple livrable réglementaire pour devenir un levier de pilotage. Les méthodes « bottom-up » permettent d'introduire des seuils progressifs et d'orchestrer la montée en exigence jusqu'à la neutralité 2050 (Tozan et al., 2024). Une fois contractualisée, l'ACV influence réellement les choix : bonus/malus, clauses de paiement ou de

variation validant ou non la décision (Martens & Carvalho, 2016). D'autres signaux économiques arrivent : des pénalités carbone peuvent modifier la dynamique du marché immobilier et l'intérêt pour le trading carbone (Jose Valdez Echeverria et al., 2023). Dans ce contexte, l'ACV couplée au BIM devient un axe majeur de décision bas-carbone (Li et al., 2020), au point que des cartes de points impactant transforment un rapport obligatoire en discussion stratégique avec le client, et qu'au Danemark le rapport ACV est désormais un différenciateur en appel d'offres (Safari & AzariJafari, 2021). Les guides opérationnels rendent le bonus/malus ACV actionnable en commande publique (Fregonara et al., 2022).

Interpréter correctement, c'est aussi paramétrer les scénarios qui portent la décision : une simple hypothèse de décarbonation de l'énergie ou de prix de l'électricité peut changer le rang des variantes et, donc, la stratégie d'investissement (Kim et al., 2018; Kuittinen & Häkkinen, 2020). Il faut aussi permettre d'élargir le spectre de personnes utilisant les résultats de l'ACV. Les outils qui réduisent les traitements manuels et mettent en scène les résultats (cartes, graphiques) facilitent l'usage par des non-experts dès l'esquisse (Campo Gay et al., 2024). Il faut anticiper l'incertitude, par exemple par échantillonnage pour donner de la confiance au décideur (Pannier et al., 2023).

2.5.3 Un levier d'activation pour optimiser les processus en interne

L'ACV devient un organisateur des processus internes dès qu'on la branche aux outils de production. Reliée au BIM et aux estimatifs, elle « comble le fossé » entre évaluation et conception en rendant les résultats accessibles, contextualisés et actionnables pour l'équipe projet (Campo Gay et al., 2024). Lorsque l'outillage est industrialisé dans les gabarits d'entreprise, les gains sont nettement visibles : l'intégration du plug-in ACV dans le template BIM a fait passer le reporting de 8 h à 1 h sur le cas danois (Tozan et al., 2024). Côté opérations, la numérisation des chantiers (scan 3D, jumeaux numériques) permet des plannings cadencés et des « sprints » de rénovation—exemple d'une rénovation lourde menée en 22 jours ouvrés en Allemagne (United Nations Environment Programme, 2024). Cette montée en maturité exige une gouvernance des données.

Pour qu'elle pèse vraiment, l'ACV doit entrer dans le pilotage et les contrats. La norme ISO 14031 cadre l'EPE par KPI (MPI/OPI) et les organisations l'utilisent pour relier objectifs, suivi et communication (ISO, 2021; Life Cycle Initiative, 2024). Sur projet, dès que des KPI (ex. kg CO₂e/m², % de contenu recyclé, coût de cycle de vie) sont inscrits à la charte et au marché, l'ACV influence les jalons et les décisions (Martens & Carvalho, 2016). L'ACV passe alors du rapport au système de management dès que l'entreprise combine : intégration au BIM (templates, automatisation), gouvernance et traçabilité des données, repères ISO 21678, cadrage bonus/malus en achats, KPI contractuels, et analytique (ACV + ACC, incertitudes) pour orienter vite et bien. Le schéma ci-dessous appuie l'importance de l'ACV qui vient « nourrir » les processus d'appel d'offre de données.

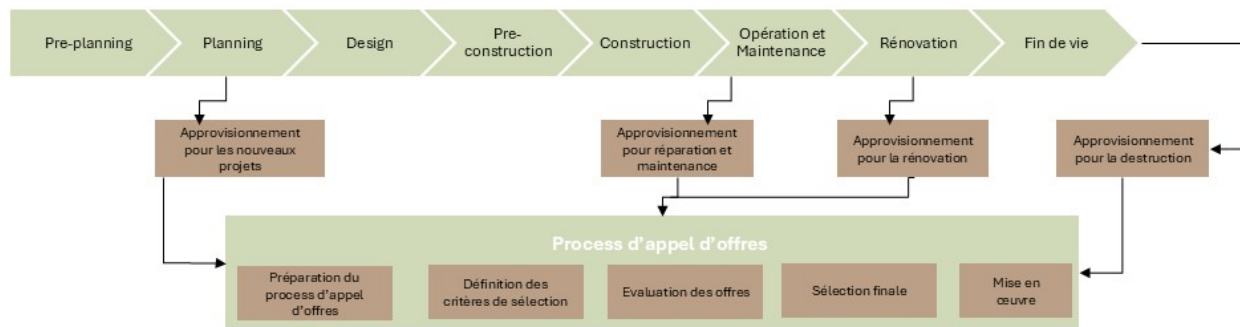


Figure 10. Cycle de vie d'un projet et des différents types d'apport de données. traduit et issu de la source : Green public procurement in construction (Ahmed et al., 2024)

La rangée supérieure déroule les phases du projet. À plusieurs moments, des besoins d'approvisionnement apparaissent pour l'appel d'offre : pour un nouveau projet, pour des réparations/rénovations, pour la rénovation, et pour la déconstruction. Chacun de ces besoins renvoie vers le bandeau inférieur, qui décrit le processus d'appel d'offres : préparation des documents de consultation, définition des critères d'attribution, évaluation des offres, attribution du marché, puis phase de suivi. Les flèches montrent que des consultations peuvent être lancées à différentes étapes du cycle de vie.

2.5.4 Automatisation, configuration et BIM

L'automatisation BIM-ACV réduit massivement la saisie manuelle, fiabilise les résultats et accélère la décision. Dans un prototype opérationnel, les quantités sont lues directement dans la maquette, puis appariées aux EPD via une association matériaux fondée sur les IFC ; les résultats sont structurés dans une interface web sans logiciel local (Campo Gay et al., 2024). Même logique côté conformité : un plug-in exporte un paquet IFC+XML prêt pour le portail danois de déclaration carbone et pré-remplit des valeurs par défaut cohérentes pour gagner du temps et garder un LOD constant (Tozan et al., 2024). Côté gains opérationnels, les temps chutent : un add-in Revit-Python produit l'ACV d'un immeuble R+4 en 18 min au lieu de 4 h en signalant les données manquantes au modèleur (Jorge-Ortiz et al., 2025; Safari & AzariJafari, 2021). Les logiciels d'ACV offrent aujourd'hui l'approche la plus « clé en main » pour calculer et produire des repères, à condition de standardiser l'outil et les jeux de données validés (Mattinzioli et al., 2022). Dans la conception, la simulation comparée (ex. menuiserie bois vs aluminium) introduit la soutenabilité pour départager rapidement les options (Fregonara et al., 2022). Le couplage ÖKOBAUDAT-API / IfcOpenShell permet de mettre à jour en un clic les impacts à chaque modification de la maquette (Safari & AzariJafari, 2021). Sur le périmètre d'usage, l'automatisation sert aussi la stratégie : le baromètre Construction Durable 2025 pousse à passer du contrôle court-terme à une logique de valeur durable (L'observatoire de la construction durable & Saint Gobain, 2025). Les chaînes BIM-ACV s'étendent désormais vers des feuilles de route de décarbonation sur tout le cycle de vie, y compris au-delà de 2050 (Li et al., 2020).

2.5.5 ACV, un produit commercial

Dans la construction, l'ACV n'est plus seulement un outil technique : elle devient un levier stratégique pour décider, vendre et financer les projets. D'un point de vue économique, l'association ACV-LCC permet de justifier des investissements initiaux plus élevés par des économies d'exploitation et des gains d'impact sur tout le cycle de vie. Dans un cas réel, une rénovation optimisée fondée sur BIM-ACV-LCC affiche un temps de retour de 6,8 ans, ce qui rend l'argument audible pour des gestionnaires d'actifs (CAPEX vs OPEX) (Kim et al., 2018). De façon

plus large, la littérature recommande d'intégrer ACV/LCC aux points de passage décisionnels et aux dispositifs d'évaluation/notation de portefeuille pour aligner stratégie, conformité achats durables et innovation (Cooper et al., 1999). Côté conseil, des livrables "commercialisables" se standardisent et sont délivrés après simulations. Cela permet de déplacer la discussion de l'esthétique vers la valeur sur le cycle de vie (Lu et al., 2021).

La réglementation accélère cette mutation. Les valeurs limites basées sur l'ACV sont désormais utilisées comme critères de marché et de labellisation (Mattinzioli et al., 2022; Tozan et al., 2024). En Suède, la déclaration climatique obligatoire à chaque permis a créé un marché naturel pour les outils BIM-ACV ; la demande d'ACV "clé en main" a triplé depuis l'entrée en vigueur (Safari & AzariJafari, 2021; Tozan et al., 2024). La refonte annoncée de l'EPBD et la Taxonomie UE renforcent la transparence méthodologique et la traçabilité, ce qui structure l'offre et la monétisation des prestations ACV (Mattinzioli et al., 2022; Safari & AzariJafari, 2021). Dans les achats publics, l'ACV devient un instrument de différenciation. Le cadre bonus/malus propose de monétiser les GES via des shadow prices et un facteur d'actualisation (RBCF). Ce coût externe vient s'ajouter au prix d'offre : le classement des offres peut changer selon le prix carbone retenu (Scherz et al., 2023). Le même article détaille la procédure d'intégration dans l'appel d'offres. Plusieurs revues confirment que le GPP (achats publics verts) utilisera de plus en plus l'ACV aux étapes d'appel et d'attribution, y compris pour les émissions incorporées (Ahmed et al., 2024; Fregonara et al., 2022).

Le positionnement commercial s'étend vers la finance durable. En Colombie, l'adoption d'un "carbon passport" projet a permis d'obtenir des taux bonifiés de prêts verts (Jorge-Ortiz et al., 2025). En Finlande, l'essor de normes ACV nationales laisse entrevoir une hausse de la demande d'EPD numériques, ce qui alimente l'écosystème de données (Kuittinen & Häkkinen, 2020). En France, des entreprises rapportent que les plafonds RE2020 deviennent un argument de vente auprès de clients privés en quête de crédibilité (Barjot & Malmqvist, 2024). L'offre se segmente aussi par modèle économique. Pour élargir l'accès des PME, certaines solutions publiques/universitaires se diffusent en freemium, afin d'éviter les barrières de licence associées aux suites internationales (Jorge-Ortiz et al., 2025). À l'opposé, les acteurs établis vendent la conformité carbone-as-a-service intégrée au BIM, capitalisant sur les obligations nationales (Barjot & Malmqvist, 2024; Lu et al., 2021). Et, plus en amont, un nombre croissant de start-ups fournissent des services intégrés, où l'ACV se branche naturellement comme module de chiffrage environnemental (United Nations Environment Programme, 2024).

Enfin, la proposition de valeur la plus robuste combine environnement et économie. Les cadres intégrés LCA+LCC convertissent les émissions par phase (A à C) en un coût d'impact environnemental au prix de marché du CO₂. Ils les agrègent avec les coûts de construction/énergie/maintenance pour obtenir un coût global actualisé (Alshamrani, 2022).

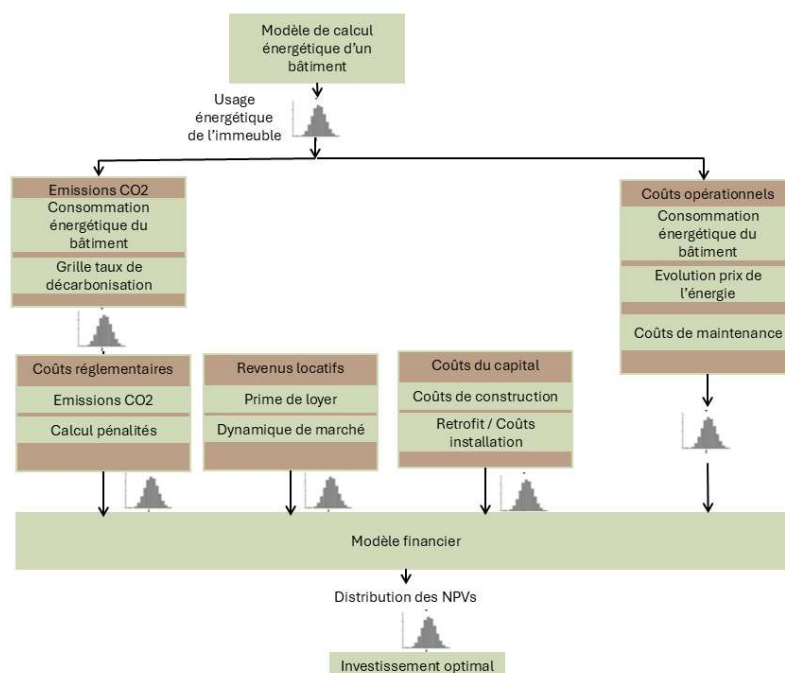


Figure 11. Quantifying the financial value of building decarbonization technology under uncertainty, source: Integrating energy modeling and investment analysis. Energy & Building (Jose Valdez et al., 2023)

Ce schéma (figure 11) montre comment, à partir d'un modèle énergétique de bâtiment, on estime les émissions de CO₂, puis on les monétise (prix du carbone, pénalités), tout en agrégeant les coûts d'exploitation (énergie, maintenance), les coûts en capital (travaux) et les revenus locatifs. L'ensemble alimente un modèle financier qui calcule la distribution de valeur actuelle nette (VAN/NPV) et identifie l'investissement optimal. Cette logique considère les impacts et les coûts sur tout le cycle de vie et permet de générer/évaluer rapidement des scénarios dans le temps (Jose Valdez Echeverria et al., 2023). L'ACV "produit commercial" s'appuie donc sur : des usages réglementaires créant un marché, des modèles de service, des arguments financiers, des livrables standardisés, et une intégration BIM qui réduit les coûts de transaction. Cette combinaison transforme l'ACV en offre vendable et scalable, au cœur des stratégies de différenciation et de conformité des acteurs du bâtiment.

2.6 Les perspectives d'évolution de l'ACV

2.6.1 Taux d'adoption de l'ACV dans les entreprises européennes du secteur de la construction

En Europe, l'ACV progresse nettement, mais demeure inégalement intégrée selon les pays et les phases de projet. Les revues de littérature constatent que, dans la construction, la majorité des travaux et référentiels portent sur les bâtiments et gagnent en popularité (Mattinzioli et al., 2022). Du côté des pratiques, les leaders du secteur adoptent de plus en plus une approche « whole-life carbon » pour la conception et la rénovation (United Nations Environment Programme, 2022). Néanmoins, l'ACV est encore rarement mobilisée très en amont des projets, en raison de la complexité des outils et du manque d'intégration aux workflows (Campo Gay et al., 2024). La dynamique est fortement tirée par la réglementation. En France, la RE2020 fait passer l'ACV du volontariat à l'obligation, ce qui accélère son adoption opérationnelle (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024). Les dispositifs nationaux du Nord de l'Europe illustrent l'effet « marche captif » : 1 356 déclarations climatiques ont été déposées en Suède dans les 14 premiers

mois, et les ACV produites par des consultants ont triplé au Danemark guide après l'introduction d'un plafond de 12 kg CO₂e·m⁻²·an (Tozan et al., 2024). À l'échelle mondiale, 15 feuilles de route nationales/régionales et 34 pays ont adopté une stratégie explicite de décarbonation du bâtiment, ce qui structure les attentes des entreprises européennes (United Nations Environment Programme, 2024). Deux freins subsistent : l'absence d'un cadre partagé obligatoire de comparaison/benchmark (Mattinzioli et al., 2022) et le déficit d'intégration en phase esquisse (Mattinzioli et al., 2022). Mais les signaux marché sont positifs : en Europe, 78 % des maîtres d'ouvrage déclarent envisager une ACV complète sur leurs prochains projets (L'observatoire de la construction durable & Saint Gobain, 2025) En somme, l'adoption est en forte croissance mais encore hétérogène, avec une normalisation attendue autour des exigences « whole-life carbon » et des outils mieux intégrés au BIM.

2.6.2 Vers des innovations collectives et des outils partagés

Le baromètre mondial Saint-Gobain montre que la « construction durable » est d'abord associée à la performance énergétique, puis aux matériaux écologiques et à la neutralité carbone. Il indique aussi un écart d'adoption : 65 % des professionnels disent évaluer l'empreinte carbone, mais seuls 30 % le font systématiquement (37 % « quand ils ont le temps » ; 33 % jamais).

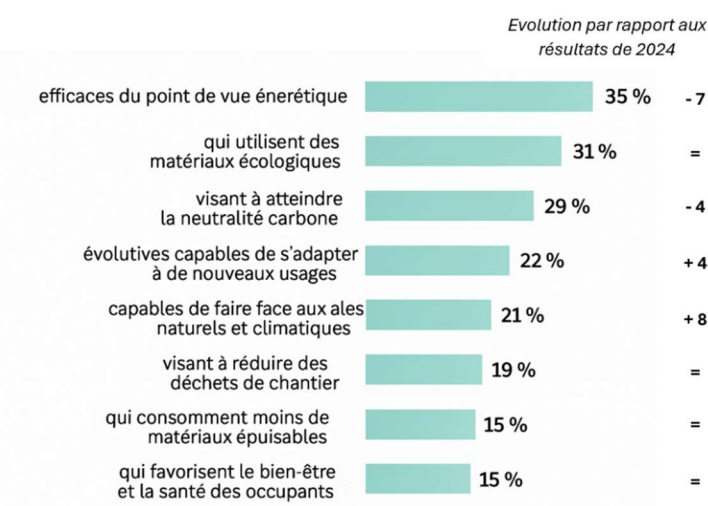


Figure 12. Perception de la construction durable par les professionnels de la construction, Source : Saint-Gobain (L'observatoire de la construction durable & Saint Gobain, 2025)

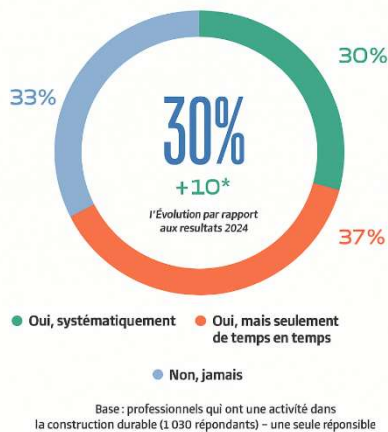


Figure 13. Evaluation de l'empreinte carbone dans les projets par les acteurs de la construction, Source : Saint-Gobain (L'observatoire de la construction durable & Saint Gobain, 2025)

Une nouvelle génération d'acteurs combine numérisation du bâti (scan 3D, préfabrication, planification) et services de performance : l'ACV y devient le cœur d'offres (United Nations Environment Programme, 2024). Ce mouvement s'inscrit dans la logique de « systèmes d'innovation mission-orientés » (MIS), où un réseau d'institutions soutient le déploiement de solutions à impact (Ahmed et al., 2024). Plusieurs travaux recommandent également d'assigner des valeurs monétaires explicites aux critères environnementaux lors de l'évaluation des offres, plutôt que des systèmes de points difficiles à comparer (Ahmed et al., 2024; Fregonara et al., 2022; Hoogmartens et al., 2014; Scherz et al., 2023). Enfin, les collectivités et leurs écosystèmes locaux montrent que les objectifs économiques et environnementaux peuvent être atteints « d'un même mouvement » lorsqu'on articule achats, industrie locale et décarbonation (Leffel, 2022). Les labels et standards jouent un rôle d'entraînement : ils structurent une demande ACV côté entreprises, facilitent l'évaluation objective en marchés publics et soutiennent la diffusion de pratiques communes (Ahmed et al., 2024). À l'échelle du secteur, des visions systémiques invitent à concevoir les bâtiments comme des « banques de matériaux », et à « faire plus avec moins » en réduisant la consommation en premier lieu (Arup & WBCSD, 2023). Le baromètre 2025 appelle d'ailleurs à rendre les matériaux durables plus compétitifs (33 %), à plus de transparence (28 %), à l'innovation (22 %) et à la coopération entre acteurs (31–32 %), autant de leviers au cœur de l'ACV. (L'observatoire de la construction durable & Saint Gobain, 2025). En parallèle, la communauté internationale renforce les fondations : passeports produits et *building logbooks* pour assurer la continuité d'information, harmonisation des EPD, progrès d'interopérabilité GLAD (convertisseurs de formats, nœuds de données, nomenclatures communes) ; lancement du cadre pour des évaluations plus fiables et comparables (ex : GLAM 1.0 (Ahmed et al., 2024; Life Cycle Initiative, 2024; Mattinzioli et al., 2022).

2.6.3 Les défis encore persistants

2.6.3.1 *Fiabilité et partage des données*

Le premier verrou reste la qualité et l'alignement des données. Dans la pratique, l'intégration de sources hétérogènes (BIM, EPD/FDES, bases nationales) souffre de formats incohérents et d'un déficit de métadonnées (Bartels et al., 2023; Campo Gay et al., 2024). Les revues confirment l'hétérogénéité méthodologique des ACV bâtiment et l'absence de cadre partagé de benchmark (Mattinzioli et al., 2022). Les EPD/FDES restent difficiles à comparer (qualité variable, règles de catégorie, équivalences fonctionnelles), d'où la nécessité d'une harmonisation (United Nations Environment Programme, 2022). Les cadres locaux soulignent aussi la forme des livrables (exigences de rendu explicites) pour éviter l'« ACV de façade » et garantir l'évaluation par les jurys ((Vismara & Fransen, 2022). Plus largement, l'inertie organisationnelle d'un secteur à faible productivité ralentit l'adoption sans standards et processus nouveaux (United Nations Environment Programme, 2024). Enfin, des outils conçus pour d'autres régions capturent mal les spécificités locales, biaisant les résultats hors zones d'origine (Jorge-Ortiz et al., 2025a)

2.6.3.2 *Reproductibilité et généralités limitées*

Sur le terrain, la montée en compétence reste inégale : complexité technologique, coûts initiaux perçus et manque de connaissances freinent l'usage ; les grands projets s'en sortent mieux que les petits (Kiani Mavi et al., 2021). L'alignement inter-bases géré projet par projet, la non-reconnaissance croisée de labels locaux et la diversité des contextes d'application limitent la transférabilité des méthodes (Bartels et al., 2023; (Vismara & Fransen, 2022). En conséquence, on retrouve des ACV solides à l'échelle de cas spécifiques, mais encore difficiles à répliquer et à agréger facilement à grande échelle.

2.6.3.3 Une opportunité économique encore sous-exploitée

Malgré la valeur démontrée de l'approche cycle de vie + coûts (LCSA) pour allouer des ressources limitées, les décisions d'achat restent biaisées vers le CAPEX : même avec des économies d'exploitation prouvées, l'offre la moins chère à court terme l'emporte souvent (Ahmed et al., 2024; Kim et al., 2018). Le manque d'investissement et de modèles économiques incitatifs retarde la massification. Beaucoup de PME voient encore l'ACV comme un coût supplémentaire (Barjot & Malmqvist, 2024; Tozan et al., 2024; United Nations Environment Programme, 2024) À l'inverse, la perspective réglementaire (recast EPBD) ouvre un marché pour les solutions BIM-ACV et la mise en place de valeurs-limites progressives, y compris pour accélérer les matériaux biosourcés (Hoogmartens et al., 2014; Safari & AzariJafari, 2021; Tozan et al., 2024).

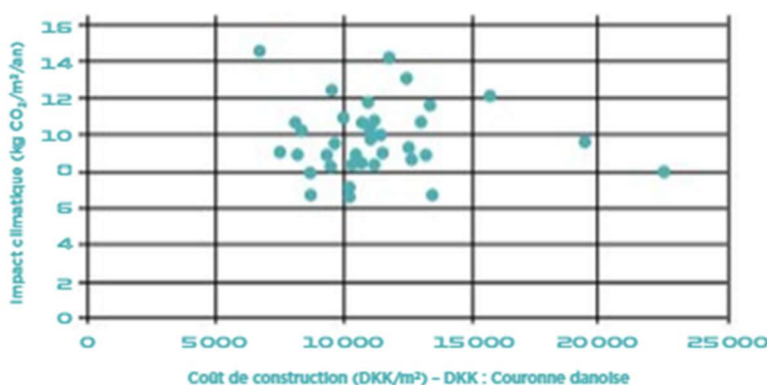


Figure 14. Absence de corrélation entre coût de construction et impact (Green Building Council Denmark, 2023)

Ce schéma permet de souligner visuellement un message clé : les bâtiments à faible empreinte carbone ne sont pas nécessairement plus coûteux. Ce constat constitue un levier majeur pour dépasser les blocages psychologiques liés au coût supposé du durable, et il ouvre la voie à une reconfiguration stratégique des décisions de conception.

2.6.3.4 Réponse des entreprises et des marchés

L'écosystème de la construction et du bâtiment bouge mais demeure hétérogène. Certes des services de « passeport carbone » sont adoptés par des promoteurs mais reste encore volontaires (Jorge-Ortiz et al., 2025). Les cadres juridiques sont jugés peu contraignants sans pénalités claires) (Ahmed et al., 2024). Malgré tout, les parties prenantes sont prêtes à expérimenter (bois, solutions bas-carbone) dès qu'apparaissent des caps et des trajectoires crédibles, et les méthodes sont plus robustes lorsqu'elles sont co-construites avec les utilisateurs finaux (Mattinzioli et al., 2022; Tozan et al., 2024). Mais tant que les KPI durables ($\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$, % réemploi, coût de cycle de vie) ne figurent pas dans la baseline contractuelle et le suivi de projet, le pilotage reste dominé par coût/délai (Martens & Carvalho, 2016). En bref : la demande existe, la fenêtre réglementaire s'ouvre, mais il faut des données comparables, des incitations économiques et une intégration contractuelle pour convertir l'essai.

2.7 Synthèse état de l'art

L'état de l'art montre un champ arrivé à maturité sur les cadres normatifs (ISO/EN, indicateurs, périmètres) et sur une offre d'outils en forte expansion (plateformes, modules BIM-ACV, aides à la décision amont). Toutefois, la mise en œuvre organisationnelle reste peu décrite de manière opérationnelle : la question de quoi produire domine encore celle de comment s'organiser

(déclencheurs, rôles, passerelles BIM - quantitatifs/EPD, contrôles qualité, jalons) (Kanafani et al., 2021; Säwén et al., 2022; Tecchio et al., 2019).

Les travaux récents confirment l'intérêt d'une pré-ACV de cadrage et d'outils pour l'exploration multi-scénarios dès l'amont, afin d'orienter les choix sur les hotspots matériaux/systèmes (Ansah et al., 2020; Hester et al., 2018; Röck et al., 2022). Le rôle central de la donnée (qualité, traçabilité, conventions d'appariement) est récurrent, avec des avancées mais des limites d'interopérabilité BIM-ACV encore notables (Famiglietti et al., 2022; Kanafani et al., 2021). À l'échelle des portefeuilles/territoires, la construction de référentiels/benchmarks soutient la comparabilité et le pilotage des trajectoires bas carbone (Famiglietti et al., 2022; Kim et al., 2018; Trigaux et al., 2017).

Sur le plan organisationnel, deux modèles coexistent : (i) internalisation progressive des compétences (pré-ACV, scénarios, gouvernance des données) ; (ii) externalisation vers des bureaux d'études ACV/thermiques pour sécuriser conformité, vérification et pics de charge, le modèle hybride domine (Campo Gay et al., 2024; Kim et al., 2018; Li et al., 2020; Safari & AzariJafari, 2021). Les freins portent sur les ressources humaines (compétences, formation), les ressources matérielles/numériques (interopérabilité, mapping EPD - quantitatifs), le financement (temps non facturé, CAPEX vs bénéfices différés) et la transférabilité des méthodes (Jorge-Ortiz et al., 2025b; Kanafani et al., 2021; Tecchio et al., 2019). Comme le dit l'enquête réalisée dans le baromètre de la construction durable :

« A ce jour l'adaptation climatique semble moins mobilisatrice que la performance énergétique, aussi bien pour les professionnels que les citoyens (selon les professionnels). Cette moindre adhésion s'explique par l'absence d'incitation claire et le manque de retours d'expérience convainquant. » (L'observatoire de la construction durable & Saint Gobain, 2025) p.(40)

Les leviers récurrents sont : pré-ACV, standards de données, outillage BIM-ACV, contrôles qualité, et pilotage par jalons (Gillott et al., 2023; Röck et al., 2022; Säwén et al., 2022). Le baromètre vient mettre en avant deux autres leviers pour des bâtiments plus résilients, qui confirme ceux identifiés pour l'ACV. Le premier est le soutien à l'investissement : assurer une stabilité réglementaire et simplifier les aides ; mobiliser financements publics et privés (assureurs, banques) pour des solutions adaptées au climat ; investir dans l'innovation et la recherche. Le second est la montée en compétences : former les professionnels du BTP aux techniques et matériaux adaptés ; déployer des formations de terrain pour expérimenter et diffuser les bonnes pratiques ; sensibiliser les particuliers à la conception résiliente. (L'observatoire de la construction durable & Saint Gobain, 2025)

L'état de l'art met en avant que l'on documente l'ACV une fois qu'elle est prise en charge par une maîtrise d'ouvrage. L'analyse manque concernant la répartition des rôles (MOA/MOE/BE), les déclencheurs, les livrables intermédiaires, les boucles de décision, et les effets sur coûts/délais/qualité (Apostolopoulos et al., 2023, 2023; Hester et al., 2018). L'ensemble des travaux confirme alors un décalage entre une normativité solide et une intégration organisationnelle encore incomplète : prescriptions fortes (indicateurs, périmètres, seuils) mais modes opératoires précis peu décrits (processus, rôles, passerelles) (Kanafani et al., 2021; Säwén et al., 2022; Tecchio et al., 2019). Il y a alors un espace à combler dans la littérature entre conformité et pilotage en proposant : (i) un cadre opératoire (processus, rôles, jalons, flux de données) ; (ii) des retours d'expérience multi-acteurs ; (iii) des indicateurs de valeur (coût-temps-qualité, performance carbone, apprentissage organisationnel), pour faire de l'ACV

un moteur de décision plutôt qu'une case à cocher (Gillott et al., 2023; Kanafani et al., 2021; Röck et al., 2022). La réponse de l'état de l'art aux sous questions est en annexe 15 sous la forme d'un tableau synthétique.

2.8 Hypothèses

Les hypothèses suivantes découlent de l'analyse de l'état de l'art concernant l'intégration et les transformations de l'ACV en entreprise, suivant une dimension analytique et organisationnelle :

H1 — EXTERNALISATION (ACV « prestataire » cadrée par la conformité)

L'externalisation permet une intégration facile et rapide de l'ACV, principalement pour répondre à la réglementation et au marché (attestations, conformité), avec peu de transformation interne : l'ACV est vécue comme une "case à cocher". Ce que cela offre si on suit cette trajectoire est de la fiabilité normative et réactivité à court terme, sécurisation des dépôts et livrables, effort interne limité. Les informations complémentaires concernant cette hypothèse, tel que les transformations attendues, les indicateurs de validation et les risques et conditions sont disponible en annexe 19.

H2 — INTERNALISATION (« compétence interne » comme investissement d'avenir)

L'internalisation rend l'intégration plus complexe (adaptations, erreurs d'apprentissage), mais porte une ambition : construire une valeur durable et une autonomie — un investissement sur l'avenir. Ce que cela offre si on suit cette trajectoire. Maîtrise progressive des outils, chaînes de données et règles métiers ; responsabilisation des équipes ; capacité à prioriser et à optimiser dès l'amont. (Informations complémentaires en annexe 20)

H3 — HYBRIDE (ACV « modèle apprenant » : coordination interne + expertise externe)

L'hybride revoit les process (complexité initiale) mais est facilité par l'accompagnement du BE. Il combine obligation (conformité) et ambition (montée en maîtrise), en conservant la relation naturelle avec les BE tout en agissant dès l'amont. Ce que cela offre si on suit cette trajectoire. Convergence plus rapide (moins d'itérations), meilleure compréhension des résultats, impact réel dès le début (pré-ACV) et capitalisation interne — rampe d'accès vers l'industrialisation. (Informations complémentaires en annexe 21)

Hypothèse transversale (+) — ACV comme levier stratégique et économique.

Hypothèse transversale (+) : ACV comme levier stratégique et économique. Une fois installée, quel que soit le modèle d'intégration, l'ACV s'implante durablement dans l'entreprise et devient un levier de transformation. Côté marché, elle produit des résultats présentables et comparables qui offrent un avantage compétitif (différenciation, accès), comme le montrent (Ahmed et al., 2024; Fregonara et al., 2022; United Nations Environment Programme, 2022). Côté pilotage, l'ACV alimente la décision via un budget carbone et des indicateurs coût/impact, en s'appuyant sur des cadres de références/limites/cibles (ISO 21678), sur l'établissement de valeurs-limites (Tozan et al., 2024) et sur la comparabilité méthodologique (Mattinzioli et al., 2022). Sur la monétisation, des dispositifs bonus/malus et l'usage du coût du cycle de vie en marchés publics rendent l'impact actionnable (Scherz et al., 2023), tandis que la valorisation financière du bas-carbone illustre les signaux prix (Jose Valdez Echeverria et al., 2023). Opérationnellement, la pratique des benchmarks coût + impact est facilitée par le couplage ACV-LCC et par l'industrialisation des workflows via des outils dédiés (Jorge-Ortiz et al., 2025; Lu et al., 2021).

3 . Méthodologie

Trois méthodes de collecte ont été mobilisées :

1. **Questionnaire en ligne** : Diffusé auprès de professionnels de la construction (contacts directs, réseau universitaire, salon spécialisé). Il durait environ 10 minutes, avec une structure logique pour faciliter la participation. Une introduction claire précisait le contexte académique, la confidentialité, l'anonymat, et l'usage strictement limité au TFE. Un message de fin remerciait les participants.
2. **Entretiens semi-directifs** : Réalisés avec des répondants ciblés à partir du questionnaire. L'objectif était de venir préciser et compléter des idées du questionnaire, mais aussi faire émerger de nouvelles réflexions. Avant chaque entretien, il était précisé que : les propos seraient anonymisés, les données seraient traitées de façon confidentielle, et utilisées uniquement pour ce TFE.
3. **Observation en entreprise** : Analyse des pratiques internes d'une entreprise spécialisée en ACV. Tous les documents, données et échanges observés ont été anonymisés. Leur traitement s'effectue de manière confidentielle et exclusivement dans le cadre de ce mémoire de fin d'étude, sans diffusion externe.

A noter : Un outil d'intelligence artificielle a été utilisé pour la reformulation ainsi que pour la correction grammaticale et orthographique.

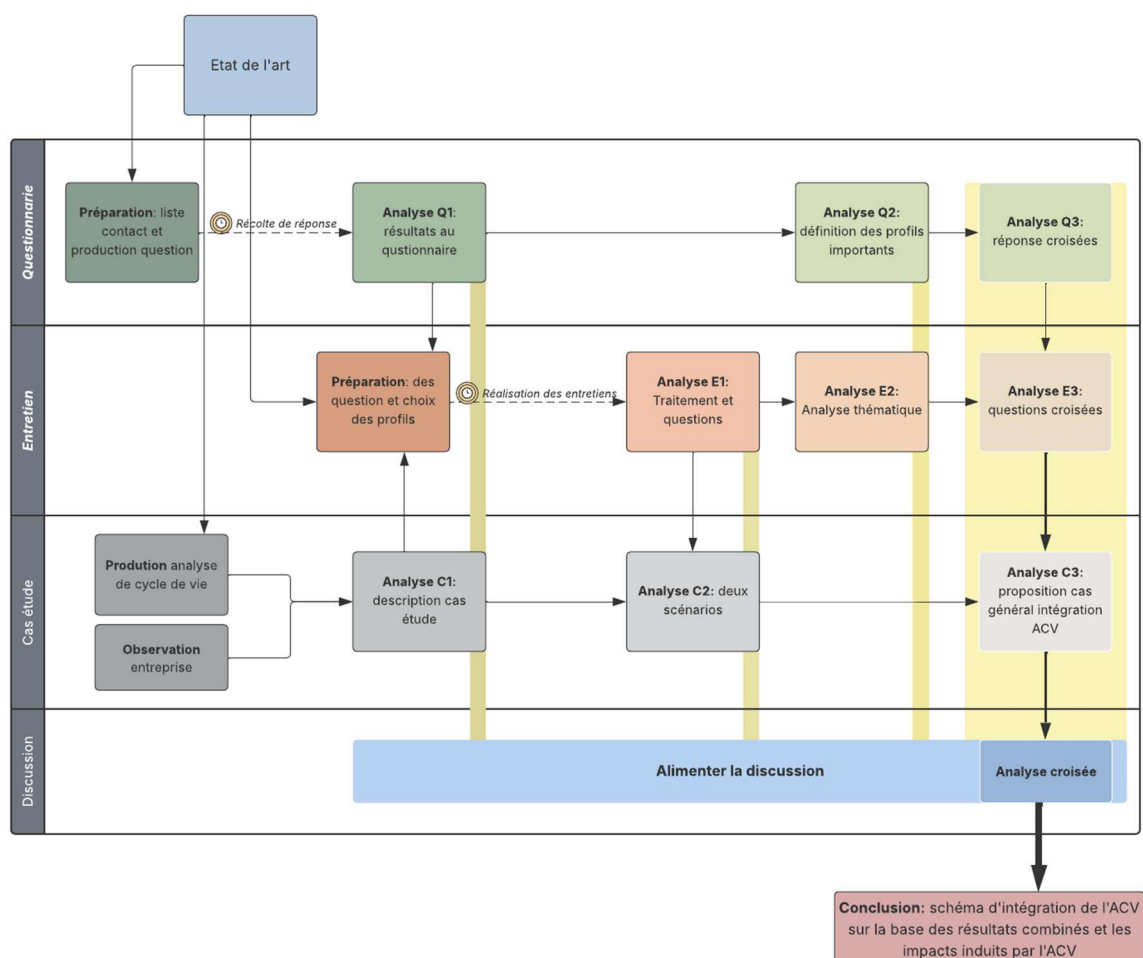


Figure 15. Organisation du mémoire, schéma de la méthodologie

3.1 Phase 1 : Définition du cadre méthodologique

3.1.1 Le questionnaire

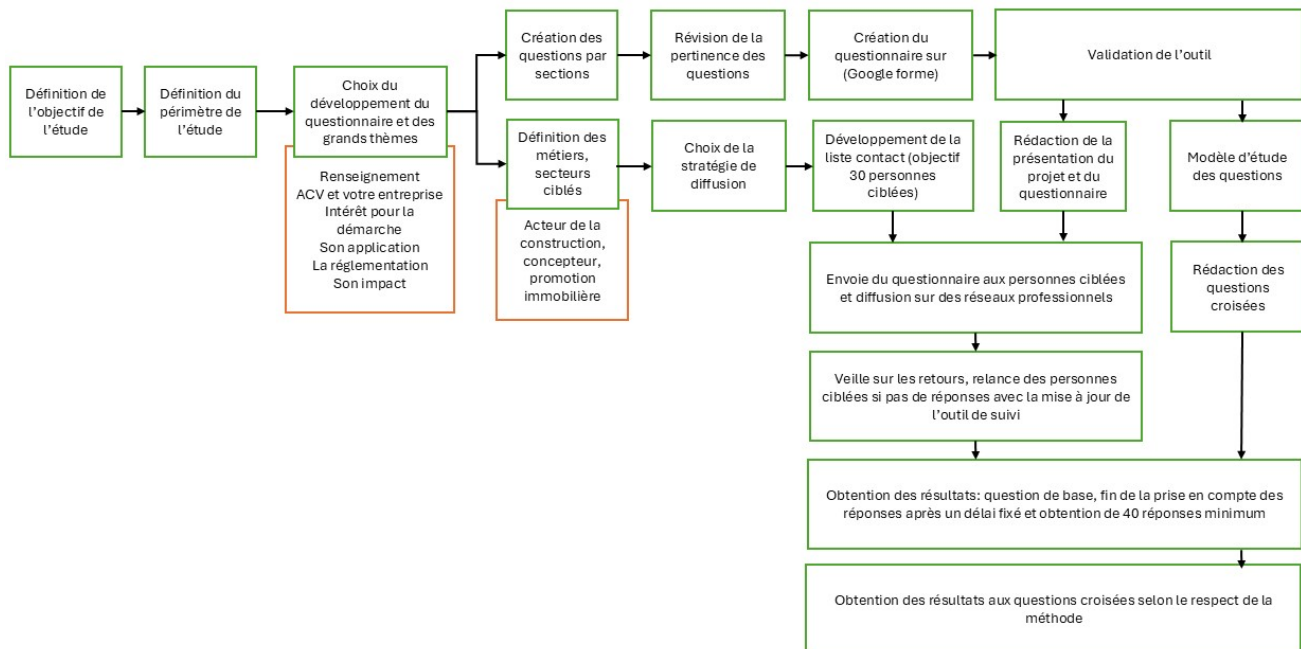


Figure 16. Méthodologie du questionnaire

3.1.1.1 Les grandes lignes de la réalisation

Dans le cadre de ce travail de fin d'étude, la mise en place d'une enquête constitue une étape décisive. Elle permet de confronter les hypothèses théoriques à une réalité empirique, en testant la pertinence des cadres méthodologiques dans le contexte concret du secteur de la construction. La méthode d'enquête par questionnaire vise à « apporter un éclairage pertinent sur la problématique d'étude (Boulant, H., 2015). L'enquête permet ainsi au chercheur de soumettre ses hypothèses « à l'épreuve de l'expérience » (Pierre Paillé & Alex Mucchielli, 2021). Cette enquête se déploie dans un périmètre d'application clairement défini, avec pour objectif principal de mieux comprendre les pratiques, les perceptions et les freins liés à l'intégration l'ACV dans le secteur de la construction. Elle interroge notamment les écarts de perception et d'appropriation de l'ACV selon les profils professionnels. La construction du questionnaire suit les étapes méthodologiques proposées par Schwartz et al. (1998) illustrées dans la figure des étapes majeures pour réaliser un questionnaire. Ces auteurs décrivent un processus structuré de la création d'un questionnaire (Schwartz et al., 1998),.

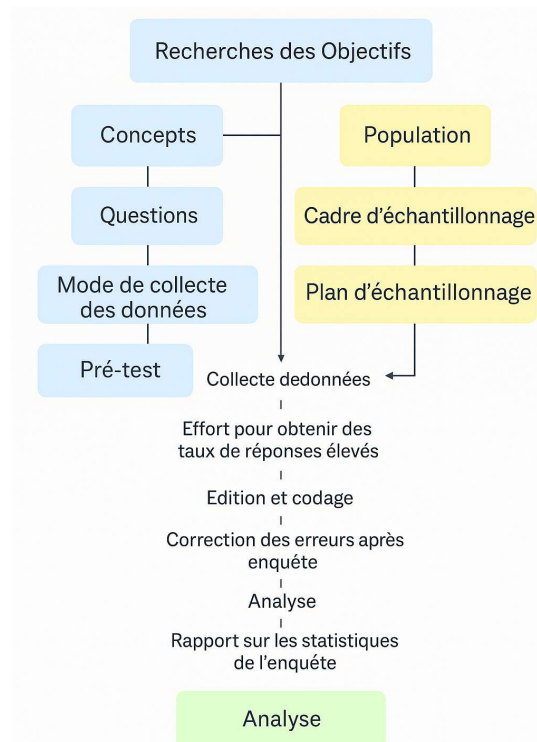


Figure 17. Etapes majeures pour réaliser un questionnaire (Traduction française) d'après « Survey Methods » in Handbook of Social Psychology, Schwarz et al., 1998

L'approche choisie dans ce mémoire s'inscrit dans une démarche exploratoire, visant à étudier un phénomène encore peu documenté dans la littérature. Cette posture permet d'interroger un phénomène peu ou pas étudié, en mobilisant des méthodes qualitatives permettant de générer des idées, identifier des variables clés et poser des bases pour des recherches futures (John W. Creswell & J. David Creswell, 2014). Cette démarche vise à appréhender en profondeur les perceptions, freins et leviers liés à l'intégration de l'ACV. Le questionnaire poursuit plusieurs objectifs :

- **Évaluer le degré d'intégration de l'ACV** dans les pratiques professionnelles et les inégalités selon les profils interrogés.
- **Examiner la cohérence** entre l'intérêt déclaré pour l'ACV et sa mise en œuvre effective dans les projets.
- **Comprendre l'environnement organisationnel** dans lequel l'ACV s'intègre : la taille de l'entreprise, son fonctionnement interne, la place des acteurs, ou encore le type de formation reçu.

3.1.1.2 Mode collecte et diffusion

La question du nombre de personnes à atteindre via le questionnaire est d'une importance méthodologique centrale. Dans le cadre de cette recherche, l'objectif était de cibler des professionnels concernés de près ou de loin par l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), que ce soit par intérêt personnel ou par obligation réglementaire, et tous issus du secteur de la construction. En adoptant une démarche exploratoire sur le sujet de l'intégration de l'ACV, l'objectif initial était de réunir un échantillon de 50 professionnels du secteur (architectes, ingénieurs, maîtres d'ouvrage, entreprises générales, etc.). Un tel seuil est généralement considéré comme suffisant

pour dégager des tendances qualitatives solides (Memon et al., 2020). Un tableau Excel a été conçu pour suivre la diffusion du questionnaire (personnes contactées, profil, date d'envoi, retours, relances). Destiné aux professionnels du bâtiment sensibles aux enjeux environnementaux, il ciblait une diversité de profils en France et en Belgique. Ce choix s'explique par une expérience professionnelle personnelle en France et une formation en Belgique, et la différence de contexte réglementaire : obligation d'ACV en France depuis 2022 versus démarche encore volontaire en Belgique, permettant une analyse comparative des approches. Le tableau ci-dessous résume les critères de sélection des répondants :

CRITERE	DETAIL ATTENDU
SECTEUR D'ACTIVITE	Construction, aménagement, développement immobilier
PROFESSION	Architecte, ingénieur, maître d'ouvrage, AMO, entreprise, urbaniste, etc.
EXPERIENCE	Participation à des projets de construction/rénovation
CONNAISSANCE DE L'ACV	Non obligatoire, mais prise en compte du degré d'exposition
DISPONIBILITE	Répondre à un questionnaire en ligne de 10 minutes
CONSENTEMENT	Accord sur l'anonymat et l'usage académique

Tableau 7. Critères envoi participants questionnaire

Malgré une stratégie de diffusion structurée, 42 réponses complètes ont été recueillies. Bien que ce chiffre reste légèrement inférieur à l'objectif initial, il se rapproche du seuil de robustesse qualitative. Concernant le mode de diffusion, le questionnaire a été conçu sur Google Forms. Cet outil offre divers types de questions et génère automatiquement des synthèses graphiques des réponses. Pour maximiser le taux de réponse (Schwartz et al., 1998), la diffusion s'est faite par envoi ciblé en message privé à des professionnels (mail, LinkedIn), en deux phases :

1. **Cercle professionnel** : anciens collaborateurs, contacts liés aux cas d'étude ou projets autour de l'ACV, en leur demandant également de relayer le questionnaire à des profils similaires. (Stadel & Stulp, 2022)
2. **Réseaux académiques** : enseignants-chercheurs, professionnels engagés dans l'enseignement et sensibles aux enjeux environnementaux. Cette cible a permis d'équilibrer la prédominance des profils français par des réponses belges.

3.1.1.3 Choix et organisation des questions

Le questionnaire a été conçu via l'outil Google Forms, et structuré de manière progressive, en commençant par des questions générales pour aller vers des questions plus spécifiques. Cette organisation vise à faciliter l'entrée en matière, à soutenir le rappel d'expériences, et à encourager une réflexion guidée autour de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) (Schwarz et al., 1998). Pour la construction du questionnaire, trois types de questions principales ont été retenus. L'ensemble des questions sont en annexe 4.

- Questions fermées à choix unique ou multiple : pour identifier le profil des répondants (profession, rôle, secteur d'activité, taille de la structure, etc.).
- Échelles d'évaluation à 5 points : pour évaluer l'intérêt, la perception, les connaissances, et les freins à l'intégration de l'ACV. Le choix d'une échelle à 5 modalités vise à éviter la dispersion des réponses tout en maintenant une bonne lisibilité (Boulan, 2015). Toutes les échelles ont été uniformisées de "faible" à "très fort", afin d'éviter toute confusion dans la lecture et d'assurer la cohérence des réponses.
- Question ouverte finale (facultative) : placée à la fin du questionnaire, elle permet aux participants d'exprimer librement un avis ou un commentaire. Cette option vise à enrichir l'analyse avec des éléments qualitatifs, sans freiner la participation.

Un champ obligatoire en début de formulaire permettait de recueillir une adresse e-mail, uniquement dans le but de recontacter certains répondants pour un éventuel entretien complémentaire. Cette démarche était explicitement annoncée dans le texte introductif du questionnaire. Les adresses collectées n'ont été utilisées à aucune autre fin, et l'ensemble des réponses a été anonymisé lors de l'analyse. Le questionnaire a suivi une logique de parcours, guidant le participant de questions générales vers des questions plus techniques portant sur ses connaissances personnelles et professionnelles. Cette séquence a été pensée pour favoriser la réflexion progressive, réduire les risques d'abandon en cours de route, et assurer la qualité des réponses.

1. Identification du profil professionnel
2. Rapport personnel à l'ACV (connaissance, formation, usage)
3. Perception des impacts et évaluation de la méthode
4. Freins, leviers, perceptions générales
5. Ouverture libre (facultative)

3.1.1.4 Validation du questionnaire

Avant sa diffusion, le questionnaire a été pré-test auprès de quatre personnes aux profils variés : un académicien (enseignant-chercheur), un étudiant, et deux professionnels du secteur de la construction. Ces personnes ont accepté de répondre au questionnaire et d'en faire une relecture critique. Leurs retours ont permis d'ajuster certains termes, de clarifier les formulations ambiguës et de valider la cohérence.

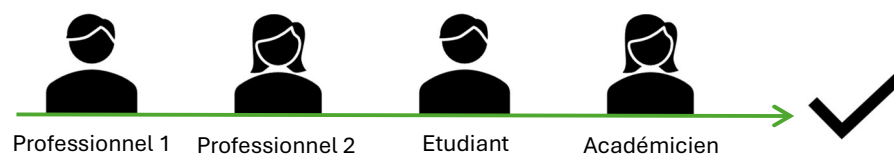


Figure 18. Validation du questionnaire

Selon (Attia, 2020), la validation d'un questionnaire repose d'une part sur sa reproductibilité et d'autre part sur sa fiabilité. Le questionnaire est reproductible, car il a été construit de manière structurée et à partir des interrogations de l'état de l'art. Il est fiable, car il s'appuie sur des références méthodologiques et un « pré-test ».

3.1.2 Les entretiens semi dirigés

Selon Blanchet & Gotman (2015) les entretiens semi-directifs permettent de mettre en lumière les logiques de raisonnement et d'action propres à chaque individu ». Ils offrent un cadre souple qui permet d'approfondir les résultats issus du questionnaire et de l'observation, en apportant des éléments complémentaires de compréhension et d'interprétation (Blanchet & Gotman, 2015).

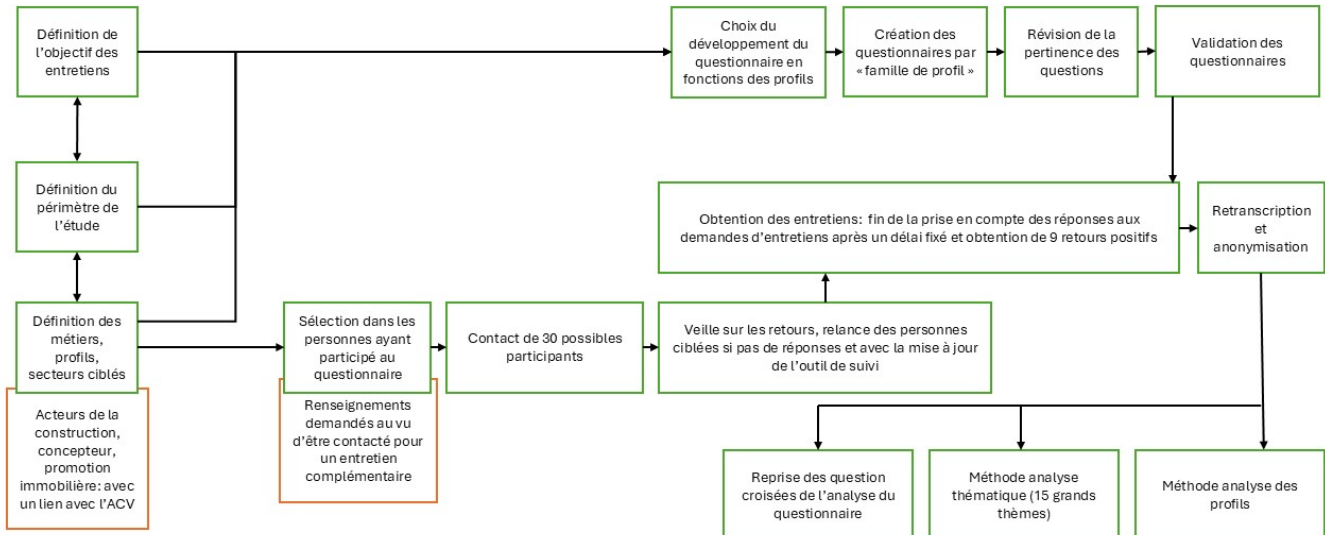


Figure 19. Méthodologie entretiens semi-dirigés

3.1.2.1 Les grandes lignes de l'entretien

Les entretiens permettent de mettre en œuvre une méthode qualitative complémentaire au questionnaire. Des entretiens semi-directifs ont été conduits auprès de profils spécifiquement ciblés parmi les répondants au questionnaire. Cette sélection visait à garantir la diversité des métiers, des types d'entreprises et des contextes d'intervention. L'objectif était de croiser des points de vue contrastés au sein d'un même métier ou domaine, comme :

- Des représentants d'entreprises concurrentes (dans le cas des fournisseurs de plateformes ACV),
- Deux architectes exerçant dans des contextes réglementaires différents (un en France, un en Belgique),
- Des professionnels chargés de réaliser les ACV (ex. : bureaux d'études),
- Et d'autres chargés de les promouvoir ou de les vendre auprès des acteurs de la construction.

3.1.2.2 Les critères d'inclusion, d'exclusion et non pris en compte

La sélection des interviewés reposait sur des critères d'inclusion : réponse préalable au questionnaire ; activité professionnelle liée à l'ACV (architecte, entreprise générale, promoteur, expert ACV interne/externe, urbaniste, dirigeant d'entreprise liée à l'ACV ou à la construction) ; connaissances minimales du concept et de ses enjeux ; et, si possible, intérêt affirmé pour les questions environnementales. Étaient exclus : toute personne hors du secteur de la construction, tout profil sans lien professionnel direct ou indirect avec l'ACV, et toute indisponibilité totale pour un entretien. N'étaient pas discriminants : l'âge, le genre, le statut hiérarchique, la localisation précise ; l'ancienneté était considérée secondaire au regard de l'implication actuelle dans les problématiques ACV.

3.1.2.3 Les profils ciblés

Dans un souci de représentativité, mais également afin de disposer de données comparables et contrastées, un objectif de diversité sectorielle a été fixé. L'enjeu était d'obtenir, dans l'idéal, deux profils par métier, afin de pouvoir croiser les points de vue et mettre en lumière des différences de perception selon les contextes professionnels. L'objectif et les résultats sont donc :

Entreprise / Métier	Objectif visé	Résultat obtenu
Maîtrise d'œuvre (MOE) / Architecte	- France / Belgique - 2 entreprises différentes - Expérience sur des projets intégrant l'ACV	<input checked="" type="checkbox"/> Un architecte belge travaillant dans une agence bruxelloise <input checked="" type="checkbox"/> Un architecte en France, intégré dans une MOE affiliée à une maîtrise d'ouvrage (MOA)
Maîtrise d'ouvrage (MOA)	- France - 2 entreprises différentes	<input checked="" type="checkbox"/> Deux entreprises françaises différentes ont participé
Bureau thermique	- France - Un bureau thermique proposant un service d'étude ACV	<input checked="" type="checkbox"/> Aucun retour obtenu malgré les sollicitations envoyées
Bureau environnemental / Expert ACV	- France - 2 bureaux spécialisés ACV - Deux types de profils : commercial et technique	<input checked="" type="checkbox"/> Entretiens menés avec plusieurs profils (commercial et technique) issus de deux entreprises concurrentes spécialisées dans l'ACV
Représentant de label/ organisme publique	- France / Belgique – Un organisme publique français (RE2020) ou belge (TOTEM) – Un représentant de label - Perspective plus réglementaire	<input checked="" type="checkbox"/> Aucun retour obtenu malgré les sollicitations envoyées
Autres profils	- Urbaniste, promoteur immobilier, BIM manager, etc.	<input checked="" type="checkbox"/> Un urbaniste impliqué de longue date dans des initiatives environnementales

Tableau 8. Objectif et résultats des demandes d'entretien

3.1.2.4 La définition des questions

Les entretiens menés sont de type semi-directif, positionnés entre les formats directifs (structurés) et non directifs (libres). Ce choix méthodologique permet de guider l'échange tout en laissant une large place à l'expression libre de l'interviewer, afin de recueillir des réponses approfondies et nuancées.

Bloc thématique Contenus abordés sous 4 grands axes	
Présentation du parcours et du métier	• Lien entre le métier et l'ACV • Sensibilité environnementale, formation initiale ou par nécessité
Pratiques de l'ACV	• Réalisation ou demande d'ACV • Implication dans les métrés, les FDES, les plateformes
Processus et organisation	• Acteurs impliqués dans l'ACV, étapes internes • Rôle des documents : DPGF, maquettes 3D, tableaux • Évolution des pratiques, freins rencontrés
Rapport à l'ACV dans la structure	• Acceptation ou résistance • Temps, outils, connaissances, gestion des données
Perceptions stratégiques	• ACV comme outil réglementaire, outil de vente, ou levier de changement • Lien avec la réglementation (RE2020...), réponse à concours, adaptation des fournisseurs

Tableau 9. Organisation par bloc et sous bloc des entretiens

Afin de garantir la pertinence des échanges, chaque entretien a fait l'objet d'une préparation spécifique en amont. Le guide d'entretien a été adapté en fonction du profil de chaque participant (métier, rôle, type de structure, expérience avec l'ACV), permettant d'ajuster certaines questions, d'en approfondir d'autres ou d'en exclure certaines jugées non pertinentes.

Profil ciblé	Intention principale
Architecte	Intégration de l'ACV dans la conception et choix techniques.
Entreprise générale	Production des données ACV et difficultés rencontrées.
Promoteur immobilier	Motivation à exiger une ACV (vente, règlement, image).
Expert ACV	Rôle, outils utilisés et limites perçues de l'exercice.
Urbaniste	Prise en compte de l'ACV à l'échelle de la ville.
Fournisseur / acheteur	Effets des exigences ACV sur les produits et l'offre.
Commercial	Utilisation de l'ACV comme argument de vente.

Tableau 10. Profil et intention différentes en fonction dans les entretiens

Des questions spontanées peuvent également être posées en cours d'entretien, afin d'approfondir les sujets émergents introduits par les participants.

3.1.2.5 La réalisation de l'entretien

La planification des entretiens s'est déroulée sur plusieurs semaines, après réception d'un nombre suffisant de réponses au questionnaire. Dès trente réponses obtenues, les premiers profils ont été sélectionnés, puis contactés via les coordonnées fournies. 5 questionnaires ont été rédigés afin de s'adapter au mieux aux profils interrogés. Les questionnaires complets d'entretien sont disponibles dans les annexes (annexe 6).

Personne	Poste	Type d'entretien suivi
Personne 1	Responsable adjoint études	Personne réalisant des ACV
Personne 2	Responsable développement	ACV organisme
Personne 3	Référent ACV / Développement projet	Personne réalisant des ACV
Personne 4	Chargé d'opération / Construction	ACV et architecture
Personne 5	Responsable commercial grands comptes	ACV et commerciaux
Personne 6	Responsable innovation	ACV organisme
Personne 7	Directrice de projet	ACV et architecture
Personne 8	Chargée de développement foncier	ACV et pôle achat tradi
Personne 9	Responsable produit – plateforme ACV	ACV organisme

Tableau 11. Récapitulatif personnes interrogées et choix de l'entretien

Pendant l'entretien, le guide de questions était ouvert en parallèle de la fiche profil. Les questions déjà abordées étaient cochées au fil de la discussion. Les questions émergentes étaient notées pour approfondissement en fin d'entretien. Une question finale systématique était posée : « Si vous deviez imaginer l'avenir de l'ACV dans votre secteur, comment l'intégreriez-vous ? » Tous les entretiens ont été réalisés en visioconférence via Microsoft Teams, à la fois pour des raisons pratiques (localisation des répondants) et pour bénéficier de l'outil de transcription intégré.

3.1.2.6 La retranscription

Chaque entretien a été retranscrit à partir de l'enregistrement original, puis retravaillé selon un protocole méthodologique strict : maintien exclusif du vouvoiement pour la neutralité et la

cohérence ; suppression de toutes les marques de proximité ainsi que des prénoms et noms propres ; anonymisation systématique des entreprises, lieux et personnes (par ex. : « Entreprise 1 », « Localisation 1 ») afin de garantir la confidentialité ; nettoyage du langage oral avec suppression des hésitations, reformulation des expressions familières et correction des erreurs de transcription (par ex. « la cv » corrigé en « l'ACV ») ; clarification des propos pour restituer fidèlement le sens et assurer une lisibilité optimale pour l'analyse qualitative. L'intelligence artificielle a été mobilisée pour la correction et l'anonymisation selon des règles prédéfinies par l'autrice ; chaque retranscription a ensuite été relue, vérifiée et validée.

3.1.3 Le cas d'étude, observation participative

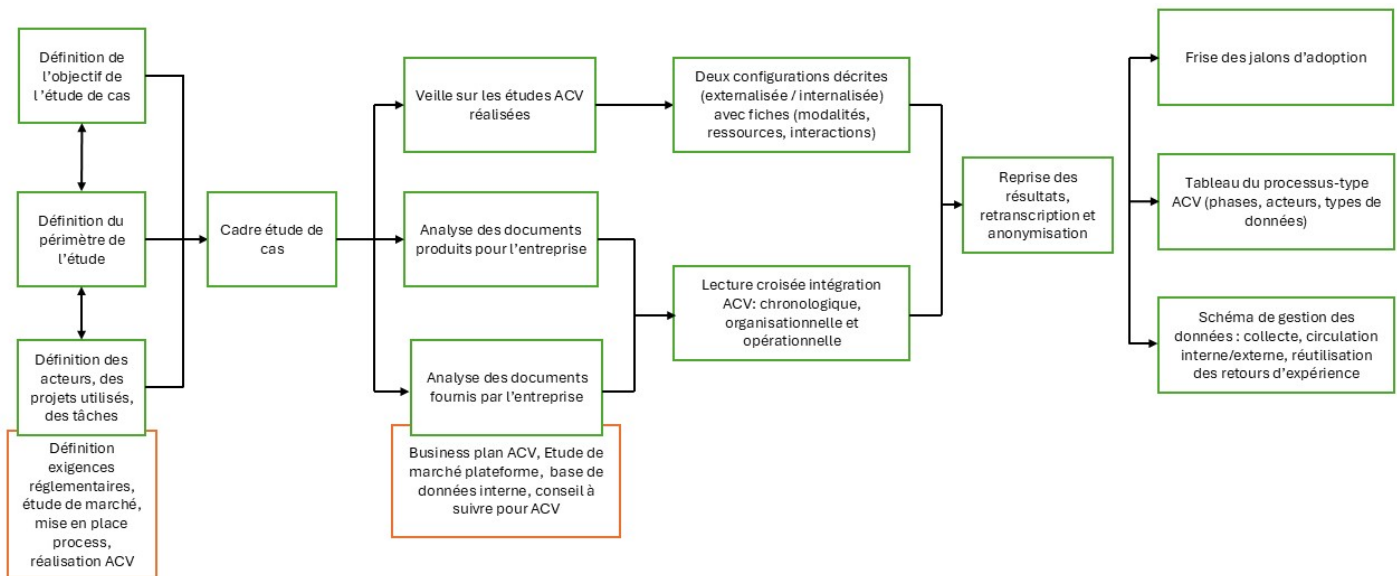


Tableau 12. Méthodologie cas d'étude

Ce mémoire s'appuie sur une étude de cas participative menée au sein d'une entreprise française de maîtrise d'œuvre, spécialisée dans les bâtiments d'activités. Prolongeant une immersion professionnelle antérieure, l'observation couvre l'intégration de l'ACV depuis la conception jusqu'au suivi de réalisation. L'objectif est de documenter les processus internes, outils, rôles, ajustements organisationnels, évolutions et freins, en lien avec les exigences réglementaires et les spécificités de chaque projet. La méthodologie, fondée sur l'observation participante, offre un accès direct aux pratiques, échanges, arbitrages et outils. L'observation directe permet de prendre conscience des pratiques réelles dans un environnement défini (Arborio & Fournier, 2021). Enfin, cette étude s'appuie sur l'usage concret d'une plateforme ACV en ligne, outil d'ACV simplifiée utilisé par l'entreprise dans le cadre de la RE2020. L'analyse des pratiques autour de cet outil permet d'observer comment les données environnementales sont structurées, circulent, et quels sont les principaux obstacles. Le recours à cette plateforme ACV n'est pas un choix méthodologique imposé, mais contraint par les usages effectifs au sein de la structure étudiée.

3.2 Phase 2 : Analyse des résultats

3.2.1 Analyse du questionnaire

L'analyse des résultats a nécessité plusieurs étapes successives visant à assurer l'organisation, la fiabilité et la cohérence des données issues du questionnaire. Les résultats du questionnaire sont regroupés en annexe 5.

3.2.1.1 Extraction et structuration des données

L'ensemble des réponses a été exporté depuis Google Forms au format Excel. Le fichier a ensuite été réédité pour garantir une organisation optimale des données, permettant leur traitement et leur analyse croisée de manière fluide.

3.2.1.2 Codage des réponses

Deux types de codages ont été mis en place, selon la nature des questions :

- Réponses ouvertes : une grille de codage thématique a été élaborée à partir des récurrences observées dans les réponses. L'objectif est de dégager des catégories interprétables et comparables.
- Réponses sous la modalité "Autre (préciser)" : les réponses libres ont été soit reclassées dans une catégorie existante, soit à l'origine d'une nouvelle catégorie, lorsque cela s'avérait pertinent. L'insertion de l'option « Autre » dans plusieurs questions visait à favoriser l'appropriation du questionnaire et ne pas limiter le champ des réponses possibles.

Ces contenus textuels ont été rassemblés, puis classés par grandes thématiques récurrentes (freins, opportunités, outils, formation, temporalité, etc.). L'intelligence a été mobilisée comme un outil de comptage pour les verbatims.

3.2.1.3 Nettoyage et ajustements de l'échantillon

Les réponses ne correspondant pas aux critères du public ciblé ont été retirées de l'analyse. Cela inclut notamment les doublons, les réponses incomplètes ou hors périmètre professionnel. Conformément aux recommandations de (Schwartz et al., 1998), des ajustements post-enquête sont généralement prévus pour corriger d'éventuelles erreurs de compréhension ou d'interprétation des catégories de réponse.

3.2.1.4 Analyse des questions

Les réponses au questionnaire ont été structurées à partir de graphiques générés automatiquement via Google Forms, chaque question faisant l'objet d'un traitement visuel pour une lecture synthétique des tendances. Dans le mémoire, l'analyse ne suit pas un examen question par question, mais une lecture thématique : les réponses sont regroupées en ensembles cohérents afin de dégager des axes transversaux. Cette approche met en évidence convergences et divergences entre répondants et fait émerger des tendances significatives autour des thématiques centrales. Les graphiques insérés constituent une sélection représentative.

3.2.1.5 Analyse des profils

Avant d'entamer l'analyse croisée des résultats, une lecture générale des profils des répondants a été réalisée. Cette étape permet de mieux comprendre la diversité des participants, leurs fonctions, leur niveau d'expérience, ainsi que leur exposition aux démarches d'Analyse de Cycle de Vie (ACV).

Choix de critère pris en compte

Seules les données liées au contexte professionnel ont été prises en compte. Les informations personnelles (âge, sexe, nom, prénom) ont été exclues de l'analyse. Les profils ont été définis à partir du secteur d'activité et du métier exercé, jugés plus pertinents que le type d'entreprise, puisque des métiers identiques peuvent exister dans des structures très différentes. L'ancienneté

n'est utilisée que si elle fait ressortir une tendance claire. Six grandes catégories de profils ont été retenues, en privilégiant une lecture par fonction ou domaine professionnel.

Evaluation de l'intérêt de la personne

L'objectif de cette section est d'identifier si les répondants présentent des tendances favorables ou non vis-à-vis de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), à travers les réponses qu'ils ont données aux questions d'opinion. Ces questions explorent leur intérêt pour la démarche, leur perception de son utilité, de son impact, ou encore leur positionnement sur sa généralisation dans le secteur de la construction. En croisant ces réponses avec les profils professionnels définis précédemment, il devient possible de repérer des tendances générales, des postures dominantes, et de mieux comprendre les dynamiques d'adhésion ou de résistance.

Evaluation du niveau de connaissance de la personne

L'objectif est d'évaluer dans quelle mesure les répondants connaissent l'ACV, que ce soit par curiosité personnelle ou expérience professionnelle. Les réponses permettent d'identifier les profils les plus familiers avec la démarche et de voir si cette connaissance influence leur perception et leur engagement vis-à-vis de l'ACV.

Description des 6 profils types

À partir des réponses, six profils types ont été définis en fonction des métiers et secteurs des participants. Ces profils permettent de regrouper les répondants selon des logiques de fonction ou de domaine d'activité, plus pertinentes que le type d'entreprise. Pour chaque profil, des tendances générales ont été dégagées concernant l'intérêt pour l'ACV et le niveau de connaissance associé.

3.2.1.6 Analyse croisée et émergence de nouvelles questions

À partir des réponses récoltées, un travail d'analyse croisée a été mené afin de dépasser la lecture linéaire question par question. Cette approche a permis de faire émerger de nouvelles sous-questions, directement issues des tendances observées dans l'enquête, mais non formulées explicitement dans le questionnaire initial. Elles permettent d'approfondir certains phénomènes ou intuitions soulevés dans les résultats. Pour répondre à ces interrogations, des tableaux croisés ont été construits en associant plusieurs variables clés issues du questionnaire : niveau de connaissance, rôle dans l'organisation, expérience antérieure, type de structure, freins perçus, indicateurs utilisés, etc. Ce travail a permis de mettre en évidence :

- Des logiques d'opposition ou de cohérence entre certains profils de répondants,
- Des relations d'implication entre expérience et pratiques réelles,
- Des différences d'approche en fonction des types de projet ou des responsabilités exercées.

Afin de structurer l'analyse croisée, l'ensemble des questions du questionnaire a été réparti en cinq grandes catégories selon leur nature :

<i>Catégorie de question</i>	<i>Description</i>
<i>Questions de profil</i>	Statut, fonction, pays, type d'entreprise
<i>Questions d'expérience</i>	Pratique de l'ACV, outils utilisés, méthode de calcul

<i>Questions de connaissance</i>	Niveau d'information, formation reçue, compréhension des indicateurs
<i>Questions d'avis ou de perception</i>	Jugement sur l'intérêt, la faisabilité, l'efficacité de l'ACV
<i>Questions d'impact ou d'implication</i>	Décision de mise en œuvre, transformation des pratiques

Tableau 13. Catégorisation des questions du questionnaire en ligne

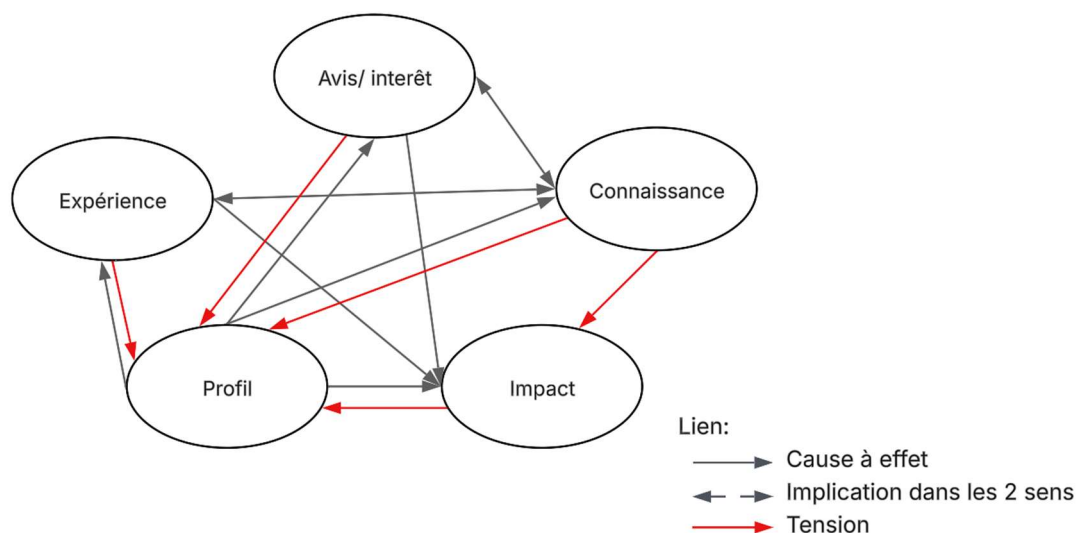


Figure 20. Lien entre les différents types de questions

Cette typologie a ensuite permis de faire émerger des axes de croisement pertinents entre types de questions : par exemple, confronter un profil à une opinion, ou un niveau de connaissance à un usage concret. Ce travail a abouti à la formulation de 9 questions croisées, chacune issue de la confrontation d'au moins deux dimensions du questionnaire. Elles permettent de construire une lecture plus stratégique des résultats. Le tableau résume les 9 questions croisées, avec les rendus attendus et la gestion des données afin d'y répondre se trouve dans les annexes (annexe 11).

Pour chaque croisement de données, le type de graphique le plus pertinent a été sélectionné en fonction de la nature des réponses et de l'objectif d'analyse pour faciliter la compréhension. Les principaux types utilisés sont présentés dans les annexes (annexe 12), accompagnés d'exemples et de méthodes de réalisation.

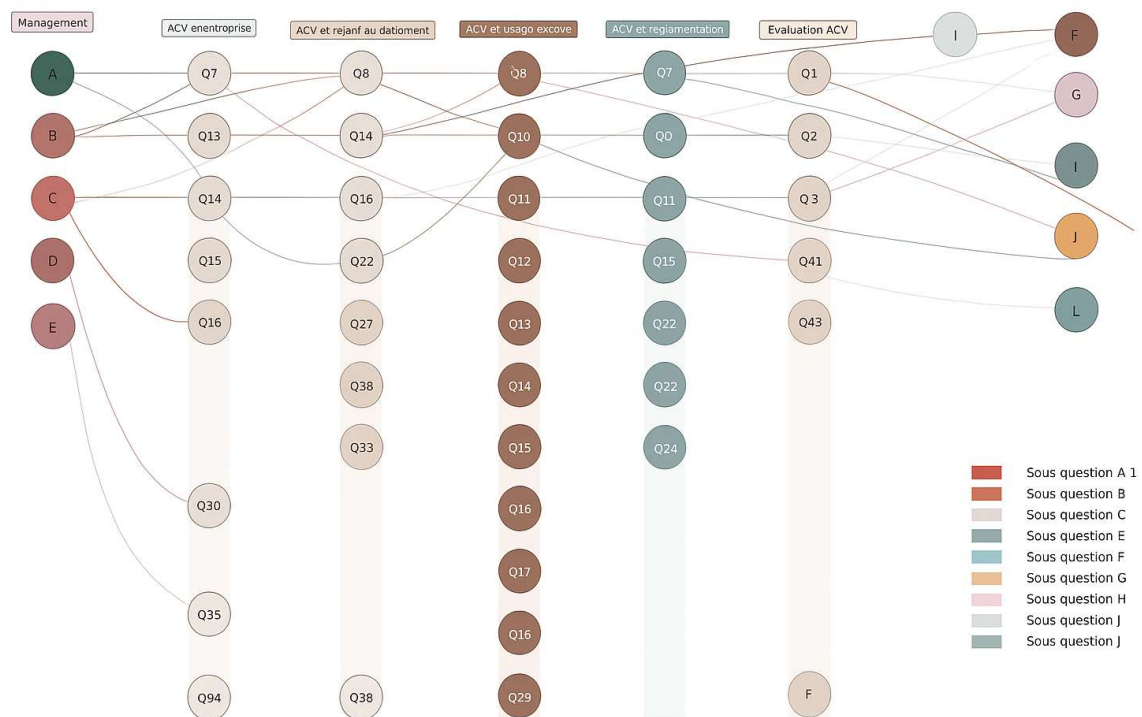


Figure 21. Regroupement par catégorie et liens entre les données du questionnaire et les questions croisées

3.2.2 Analyse des entretiens semi dirigés

L'objectif principal de l'analyse des entretiens est de venir confirmer ou nuancer les hypothèses formulées à partir du questionnaire. Pour réaliser certaines étapes des analyses, l'intelligence artificielle a été mobilisée comme un outil à des fins de comptage des verbatims prés sélectionnés, et la correction des entretiens (éliminer les expressions verbales, anonymiser les entretiens), d'itérations de recherche pour valider les thèmes trouvés suite à l'analyse de verbatims. Les résultats ont été, à chaque étape, vérifiés et validés afin d'en garantir la véracité. Pour cela, trois niveaux d'analyse sont mobilisés.

3.2.2.1 Analyse des profils

Pour chaque entretien, les informations clés du profil du répondant sont présentées de manière synthétique et anonymisée. Elles permettent de situer le participant dans son contexte professionnel (fonction, secteur, niveau de responsabilité). Ensuite, une lecture croisée est proposée autour de trois axes : intérêt personnel/ professionnel et niveau de connaissance (conf. annexe 11). Cette structure permet de comparer les postures et les parcours tout en respectant la confidentialité des propos. Pour évaluer l'intérêt personnel, l'intérêt professionnel et le niveau de connaissance des personnes interrogées, chaque entretien a été analysé à partir de son verbatim. Un tableau d'analyse a été rempli pour chaque répondant, en identifiant les extraits significatifs et en les associant à des niveaux d'évaluation (faible, modéré, fort, très fort). Cette évaluation repose sur une grille d'indicateurs fixes, définis en amont. Chaque score attribué est ainsi justifié par des éléments concrets issus du discours (citations exactes). Cette méthode assure la cohérence, la transparence et la reproductibilité de l'analyse.

3.2.2.2 *Analyse thématique générale*

Un premier traitement est mené sous forme d'analyse thématique, reprenant les grands thèmes déjà identifiés dans l'analyse du sondage (freins, leviers, outils, temporalité, etc.). Les verbatims issus des retranscriptions sont codés selon ces thématiques, permettant d'établir des points de convergence ou de divergence avec les données quantitatives et textuelles du questionnaire.

L'analyse suit l'approche thématique, adaptée aux études qualitatives en contexte organisationnel : (Nowell et al., 2017).

1. Familiarisation : lectures intégrales des neuf transcriptions purgées.
2. Codage initial inductif-déductif : repérage d'unités de sens liées aux usages, freins/leviers, organisation, outils, données, marchés, indicateurs.
3. Recherche de thèmes : agrégation des codes en sous-thèmes puis en thèmes centraux.
4. Revue et affinement : itérations pour assurer cohérence interne de chaque thème et distinction claire entre thèmes.
5. Définition et nommage : formulation de titres précis et opérationnels.
6. Rendu : structuration en résultats synthétiques, analyses par thème et synthèse transversale.

3.2.2.3 *Analyse guidée par les questions posées*

Chaque entretien est analysé individuellement en fonction des questions posées selon le profil de l'interviewé. Les réponses sont synthétisées et illustrées par des extraits de verbatims significatifs, tandis que les conseils, retours d'expérience et exemples concrets, notamment sur l'intégration de l'ACV, sont relevés.

3.2.2.4 *Croisement des données et émergence de sous-questions*

Le dernier niveau d'analyse fait émerger des sous-questions issues des convergences/divergences des réponses afin d'explorer des liens de cause à effet, des logiques d'implication et des points de tension entre perception et mise en œuvre. Étroitement articulée au mapping des questions du questionnaire, cette phase prolonge les sous-questions formulées à partir du sondage et les confronte aux propos des entretiens. Elle permet de tester la cohérence entre les deux volets méthodologiques et d'apporter du contexte via l'analyse des profils (fonction, entreprise, pays, expérience), offrant une triple lecture.

3.2.3 **Analyse du cas d'étude : observation participante**

Une analyse détaillée a été conduite afin de documenter l'intégration progressive de la démarche ACV. Cette lecture repose sur une approche croisée : chronologique, organisationnelle et opérationnelle. Plusieurs outils d'analyse ont été mobilisés pour synthétiser les résultats de l'étude de cas et la rendre lisible et pouvant être aussi comparé avec d'autres cas dans le futur. Une frise chronologique retrace les jalons marquants de l'adoption de l'ACV dans l'entreprise. Elle permet de suivre l'évolution des pratiques depuis les premières expérimentations jusqu'à la structuration actuelle du processus. Des schémas décrivant différents processus-type d'ACV intégré ont été construits. Ils identifient :

- Les grandes phases de réalisation,
- Les acteurs impliqués à chaque étape,
- Les types de données nécessaires.

Pour chaque configuration, une fiche descriptive est établie.

3.3 Phase 3 : Discussion, cohérence des analyses

La discussion constitue une étape essentielle de la démarche de recherche. Elle vise à mettre en perspective l'ensemble des résultats obtenus à travers les différentes méthodes mobilisées (questionnaire, entretiens, étude de cas) et à croiser les observations issues de ces analyses. Selon les recommandations méthodologiques de Schwartz et al., (1998), la discussion permet non seulement de confronter les résultats empiriques aux hypothèses initiales, mais aussi de formuler des réflexions interprétatives, sans pour autant proposer de solutions arrêtées.

- Une mise en regard des tendances,
- Et une synthèse croisée autour de plusieurs axes.

Cette démarche vise à faire émerger des points de tension, de convergence ou de contradiction, qui permettront d'alimenter les réflexions méthodologiques et stratégiques en lien avec l'intégration de l'ACV dans le secteur de la construction. Comme le rappellent (Boulant, H., 2015) et (Attia, 2020), la discussion n'a pas pour vocation de produire des solutions, mais bien de problématiser les résultats, en soulignant les limites, les biais possibles, et les pistes de compréhension élargie qu'ils permettent d'ouvrir.

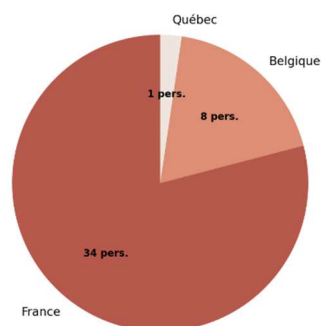
4 Résultats

4.1 Le questionnaire

4.1.1 Les résultats aux questions du questionnaire

4.1.1.1 Echantillon

Répartition par pays de résidence



Répartition par années d'expérience

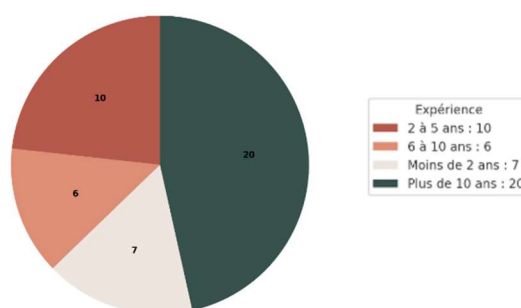


Figure 22. Résultats questionnaire, pays de résidence

Figure 23. Résultats questionnaire, années expériences

Les répondants sont issus de divers pays francophones, majoritairement la France et la Belgique, avec quelques profils d'autres zones. Cela permet une représentation élargie du secteur de la construction à l'échelle européenne francophone.

Résultats

Répartition par profession (10 catégories)

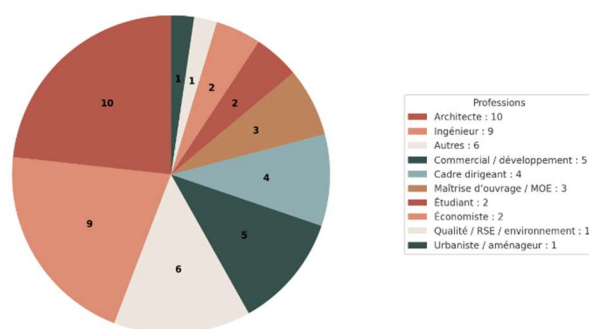


Figure 24. Résultats questionnaire, profession

Répartition par secteur d'activité (10 catégories)

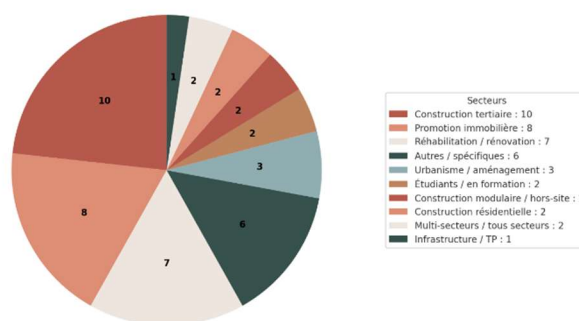


Figure 25. Résultats questionnaire, secteur d'activités

En termes de professions, on note une forte représentation des architectes, ingénieurs bâtiment, promoteurs immobiliers, ainsi que quelques économistes, urbanistes ou responsables d'outils numériques (logiciels ACV, gestionnaires de patrimoine). Certaines professions sont plus fréquentes dans certains secteurs, comme les architectes dans la rénovation et le résidentiel, ou les promoteurs dans l'immobilier neuf. Le secteur d'activité est très varié : résidentiel, tertiaire, rénovation, infrastructures, etc. Le secteur "Construction commerciale/tertiaire" est le plus diversifié en termes d'entreprises (BE, MOE, MOA, promoteurs, constructeurs). Cela peut refléter la pluralité des intervenants sur ce type de projet

Répartition par type d'entreprise (Archi / MO distingués)

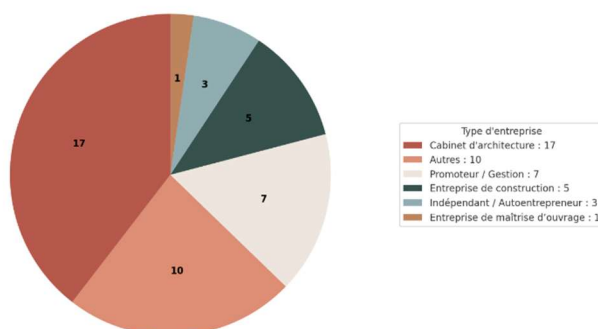


Figure 26. Résultats questionnaire, type d'entreprise

Les types d'entreprises sont également multiples, avec une prédominance des bureaux d'études et cabinets d'architecture, suivis des promoteurs, des constructeurs, et de quelques entreprises technologiques ou acteurs publics. L'analyse des années d'expérience montre une moyenne plus élevée pour certains métiers (maîtres d'ouvrage, dirigeants, économistes) avec plus de 10 ans d'ancienneté. À l'inverse, chargés de projet ACV, ou responsables techniques récentes sont souvent dans la tranche des moins de 5 ans. Selon les secteurs, l'ingénierie du bâtiment et la promotion immobilière regroupent les profils les plus expérimentés (moyenne > 10 ans), alors que les métiers émergents comme ceux liés au numérique ou à l'ACV présentent des profils plus jeunes ou en reconversion.

Résultats

4.1.1.2 L'ACV et votre entreprise

Votre entreprise aujourd'hui - Répartition en 5 catégories

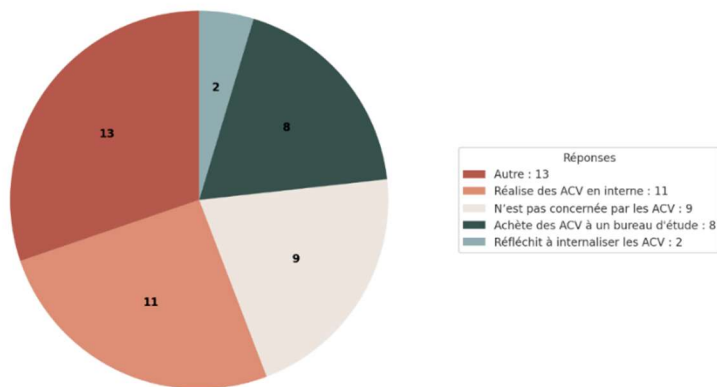


Figure 27. Résultats questionnaire, répartition de ce que fait l'entreprise en terme ACV

Avez-vous déjà réalisé / participé / demandé une ACV ?

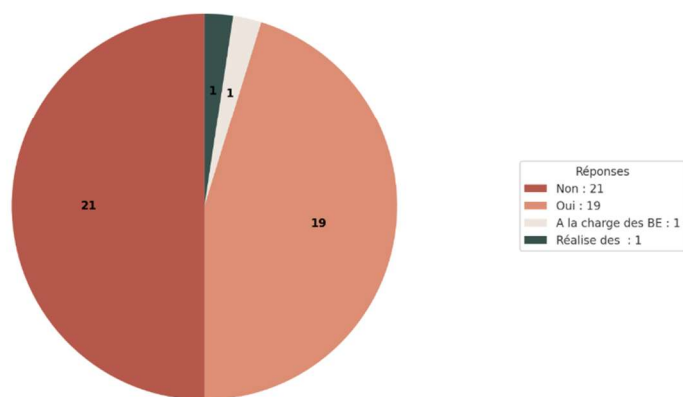


Figure 28. Résultats questionnaire, expérience avec l'ACV

La majorité des répondants déclare que leur entreprise réalise déjà des ACV en interne ou fait appel à un bureau d'étude spécialisé. Une part significative indique également être en réflexion sur l'internalisation de la démarche. Toutefois, un nombre non négligeable d'entreprises n'est pas encore concerné par l'ACV, ce qui traduit une maturité encore hétérogène sur le sujet. Sur les 21 participants, 19 déclarent avoir déjà participé à une ACV, ce qui démontre une exposition croissante à cet outil dans le secteur. Toutefois, la présence de quelques novices montre que le déploiement opérationnel reste partiel, et souligne l'existence de besoins persistants en formation, notamment dans certaines branches encore peu impliquées.

Résultats

Votre entreprise collabore-t-elle avec des organismes spécialisés en ACV ?

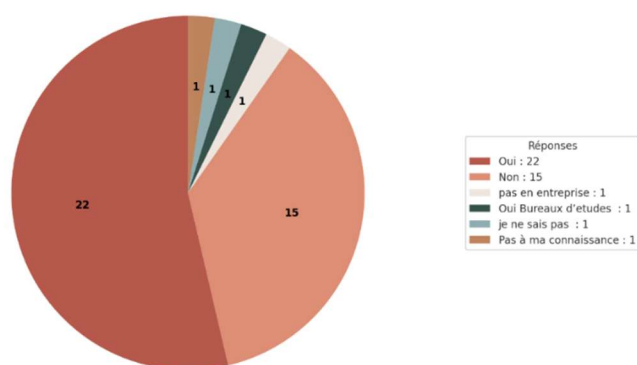


Figure 29. Résultats questionnaire, entreprise et collaboration organisme ACV

Les collaborations avec des organismes spécialisés en ACV ne sont pas encore systématiques. Moins de la moitié des entreprises déclarent avoir établi une collaboration concrète (22 participants), ce qui suggère un potentiel de renforcement des liens entre les acteurs du secteur et les structures expertes de l'analyse environnementale.

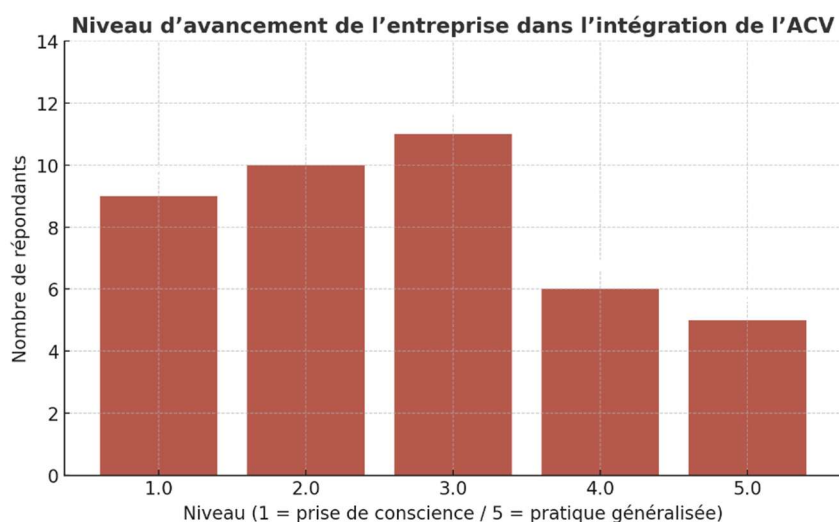


Figure 30. Résultats questionnaire, niveau avancement ACV

Les résultats montrent que peu d'entreprises ont intégré l'ACV de manière aboutie. Une majorité se situe au stade de l'exploration ou de la mise en place progressive, confirmant que l'ACV est perçue comme un enjeu stratégique émergent, mais encore en phase de structuration dans de nombreuses organisations.

Résultats

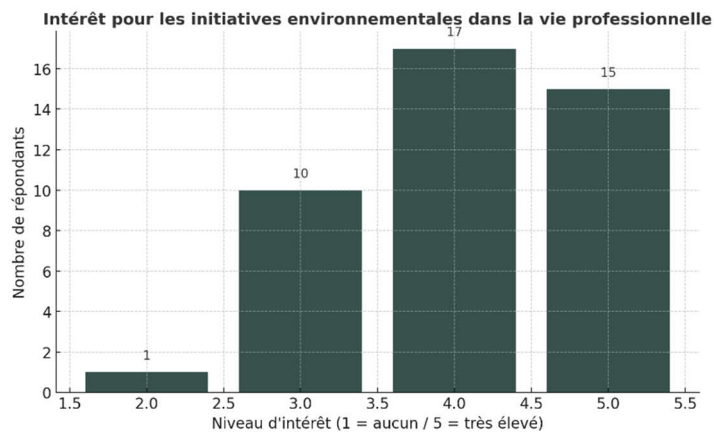


Figure 34. Résultats questionnaire, intérêts initiative dans la vie professionnelle des participants

L'intérêt reste très élevé dans la sphère professionnelle, bien que légèrement moins homogène. Cela traduit une volonté d'agir à l'échelle métier, mais aussi une prise en compte des contraintes spécifiques au cadre de travail (budgets, arbitrages, contraintes opérationnelles, technique).

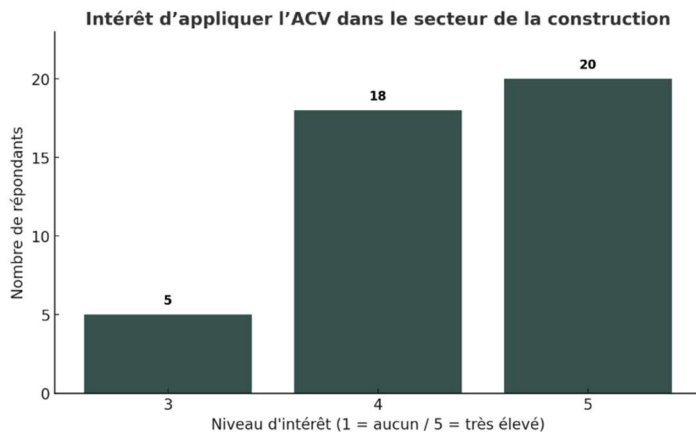


Figure 35. Résultats questionnaire, intérêt de l'ACV dans le secteur de la construction

La très grande majorité des répondants perçoit l'ACV comme utile voire nécessaire à intégrer dans les projets. Cela confirme une forte légitimité perçue de l'outil, mais appelle aussi à s'interroger sur les moyens concrets pour le systématiser au sein des pratiques professionnelles.

4.1.1.4 L'ACV et son application

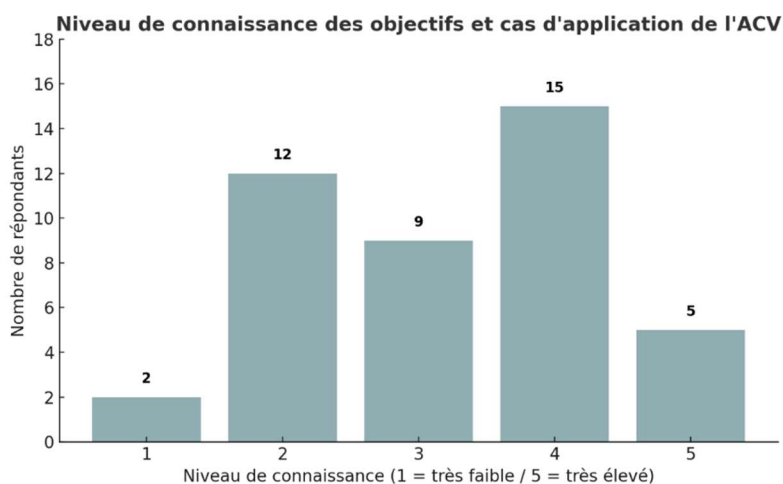


Figure 36. Résultats questionnaire, les objectifs et les cas d'application de l'ACV

Résultats

Les répondants affichent une connaissance globalement correcte des objectifs et usages de l'ACV, avec une moyenne de 3.21/5. Cette thématique est celle sur laquelle les participants se sentent le plus à l'aise. Plusieurs métiers techniques comme les bureaux d'études, les architectes ou les économistes atteignent des moyennes supérieures à la moyenne globale.

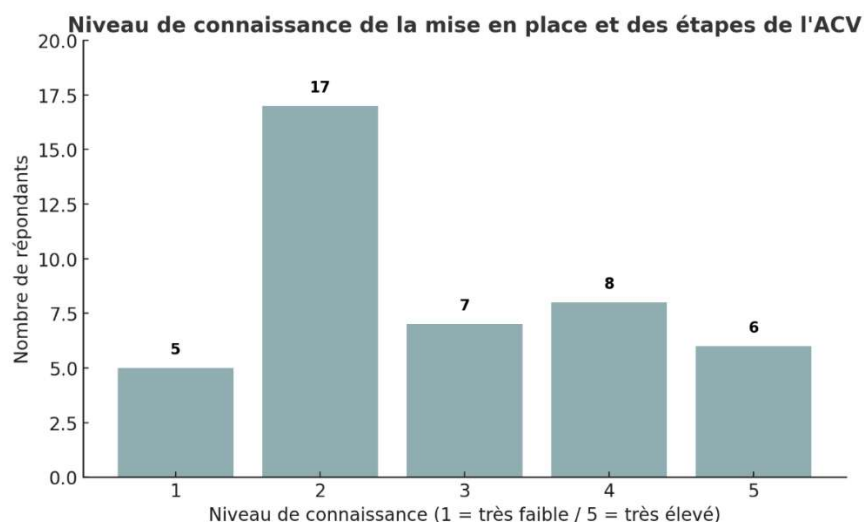


Figure 37. Résultats questionnaire, la mise en place et les étapes de réalisation de l'ACV

Le niveau de connaissance diminue sensiblement avec une moyenne de 2.84/5. Cela indique que si les grands principes de l'ACV sont compris, la maîtrise opérationnelle de sa mise en œuvre reste partielle. Les profils BE environnement et ingénieurs s'en sortent mieux, tandis que les réponses issues du secteur maîtrise d'ouvrage sont plus faibles.

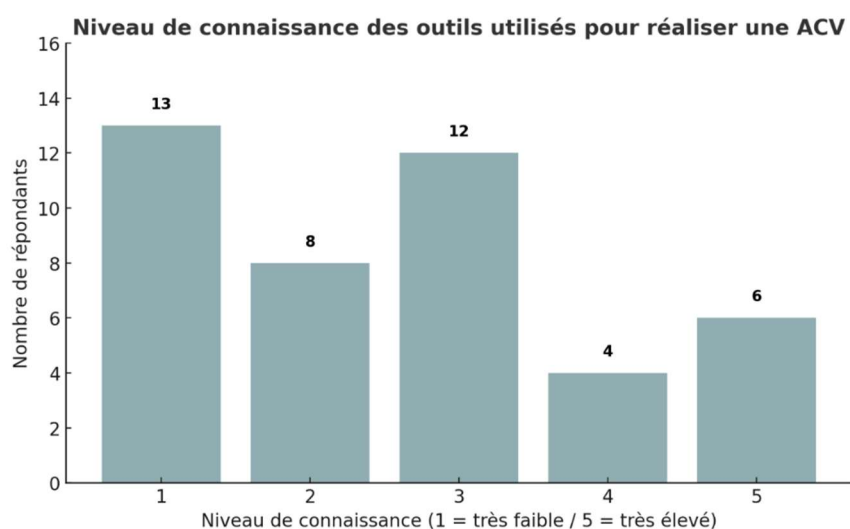


Figure 38. Résultats questionnaire, niveau de connaissance concernant les outils utilisés pour réaliser

Il s'agit de la compétence la moins maîtrisée avec une moyenne de 2.58/5. Les outils restent encore souvent l'affaire de spécialistes : les résultats révèlent une méconnaissance importante chez les profils maîtrise d'ouvrage, architecture ou gestion, ce qui peut constituer un frein à la diffusion large de la pratique.

Résultats

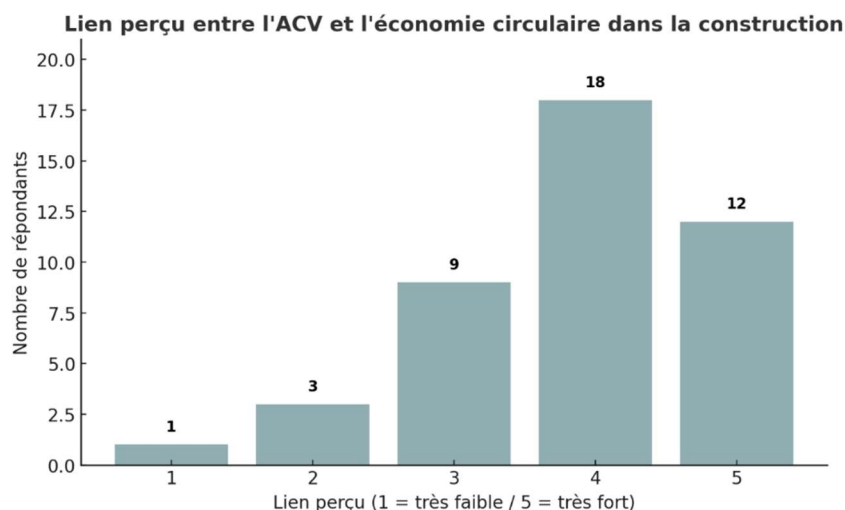


Figure 39. Résultats questionnaire, le lien entre l'ACV et l'économie circulaire dans la construction

Bien que ce lien ne soit pas chiffré de façon isolée ici, les tendances issues des questions ouvertes et de l'intérêt global montrent une reconnaissance de la complémentarité entre ACV et démarches circulaires, notamment dans les réponses les plus expertes. Ce lien semble particulièrement bien compris par les bureaux d'études et économistes de la construction.

Service en charge des ACV - Répartition en 6 catégories

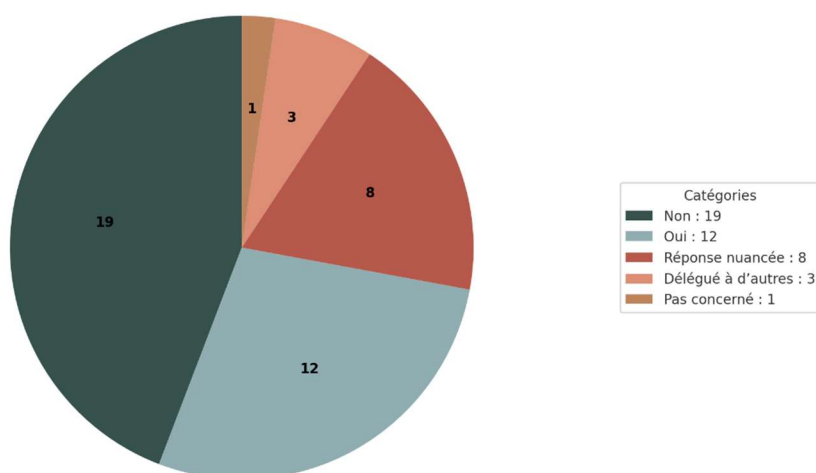


Figure 40. Résultats questionnaire, votre service devrait être en charge

Une majorité (25 sur 42) considère que leur service devrait assumer la responsabilité de l'ACV. Ce chiffre montre une volonté d'appropriation, notamment chez les architectes, les indépendants et certains acteurs techniques. Cependant, certains profils (gestion, maîtrise d'ouvrage) tendent encore à externaliser cette responsabilité. En effet, les métiers de la conception se considèrent globalement concernés par l'ACV et nombreux sont ceux à estimer que leur service devrait en avoir la charge. Cela ressort clairement des résultats :

- Les architectes sont parmi les premiers à répondre « oui » à la question « *Votre service devrait-il être en charge des ACV ?* », ce qui montre une volonté affirmée d'intégrer cette responsabilité dans leur champ d'action.
- Les économistes de la construction et certains bureaux d'études techniques expriment également cette intention, ce qui suggère que l'ACV est perçue comme un prolongement

Résultats

naturel du rôle de concepteur, notamment pour justifier des choix ou arbitrer entre variantes.

- En revanche, les profils gestionnaires, maîtrise d'ouvrage ou promoteurs apparaissent moins enclins à se déclarer responsables, laissant souvent cette tâche à des partenaires externes.

Connaissance des données nécessaires pour réaliser une ACV (Oui / Non)

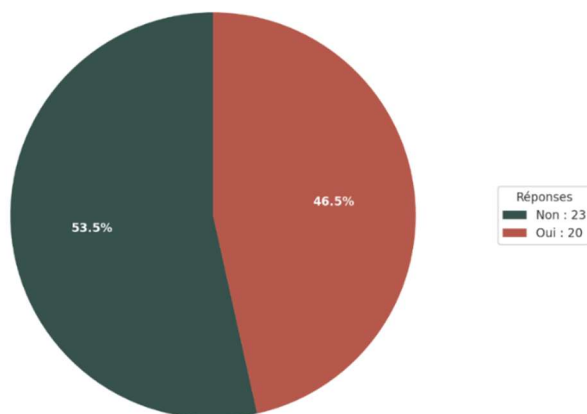


Figure 41. Résultats questionnaire, connaissance de la qualité et de la quantité nécessaire de données

La moitié des répondants environ indique ne pas maîtriser les exigences en matière de qualité/quantité des données. Cela rejoint les résultats sur les outils et montre un décalage entre l'intérêt perçu pour l'ACV et la connaissance réelle des prérequis méthodologiques.

4.1.1.5 L'ACV et la réglementation dans la construction

Faut-il renforcer la réglementation environnementale dans votre pays ?

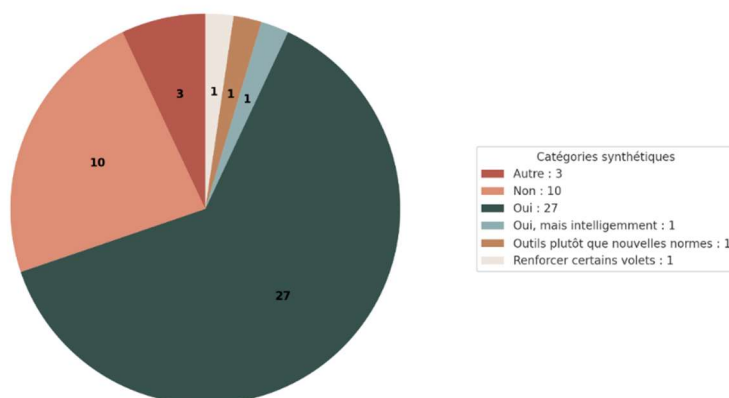


Figure 42. Résultats questionnaire, la réglementation environnementale dans votre pays

La très large majorité des répondants (près des 3/4) expriment le souhait d'un renforcement de la réglementation. Les participants basés en Belgique, où la réglementation est jugée moins structurée qu'en France, insistent fortement sur le besoin d'un cadre national clair pour faire avancer les pratiques. Les acteurs français, bien que soumis à la RE2020, ne se montrent pas moins critiques : certains appellent à davantage de cohérence entre les exigences et les outils, ou à un élargissement des obligations. Les architectes, BET et économistes de la construction sont parmi les plus nombreux à demander une réglementation plus forte — ce qui traduit leur

Résultats

besoin de soutien dans la prise de décisions environnementales, aujourd'hui souvent dépendantes de la volonté du maître d'ouvrage.

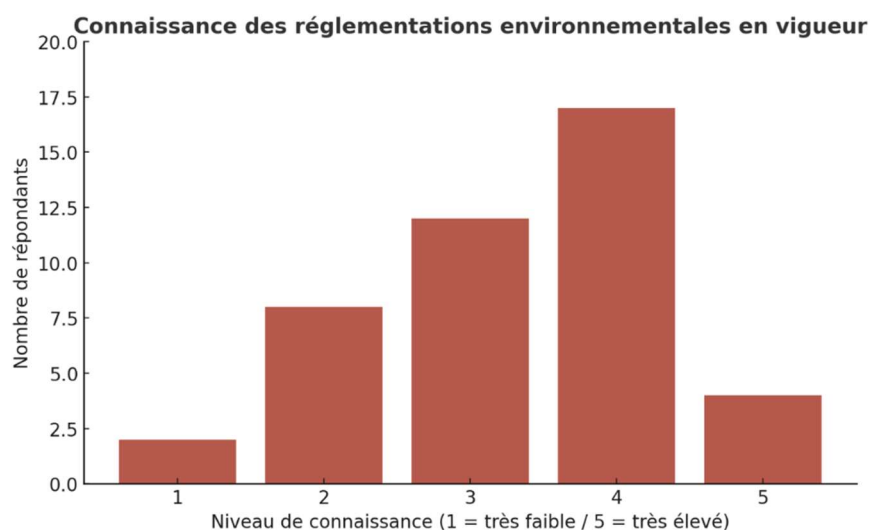


Figure 43. Résultats questionnaire, connaissances réglementation environnementale

Les réponses mettent en évidence un niveau de connaissance modéré à élevé chez environ la moitié des répondants. Les professionnels ayant plus de 10 ans d'expérience semblent mieux informés, probablement en lien avec leur exposition continue à l'évolution du cadre normatif. Ce sont surtout les architectes, les ingénieurs environnementaux et les responsables de bureau d'étude qui déclarent un niveau de connaissance avancé, en lien direct avec leurs missions opérationnelles. À l'inverse, certains maîtres d'ouvrage ou gestionnaires de projet avouent une connaissance plus limitée, ce qui peut limiter leur capacité à prescrire l'ACV comme exigence dans les projets.

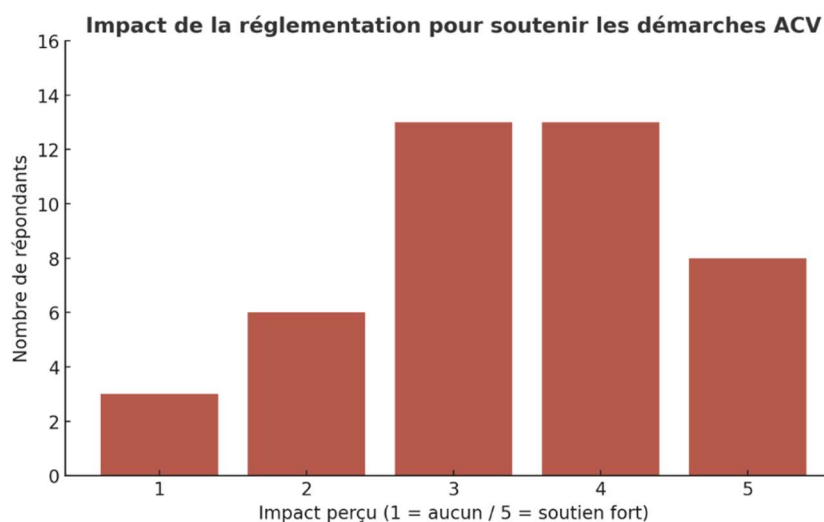


Figure 44. Résultats questionnaire, réglementation afin de soutenir les démarches ACV

Un consensus se dégage autour du fait que la réglementation a un effet moteur sur l'ACV, bien que son impact soit jugé encore partiel. Les répondants français évoquent notamment l'effet structurant de la RE2020, qui oblige les équipes à intégrer l'ACV dans certains types de bâtiments, mais pointent aussi des effets de seuil ou des stratégies d'évitement. Les participants belges expriment une frustration : l'absence de cadre fort retarde la généralisation de l'ACV. On note

Résultats

aussi que les répondants ayant déjà collaboré avec des bureaux d'études ACV ou ayant réalisé une ACV en interne perçoivent plus fortement le rôle incitatif de la réglementation.

Faut-il étendre l'ACV à tous les domaines de la construction ?

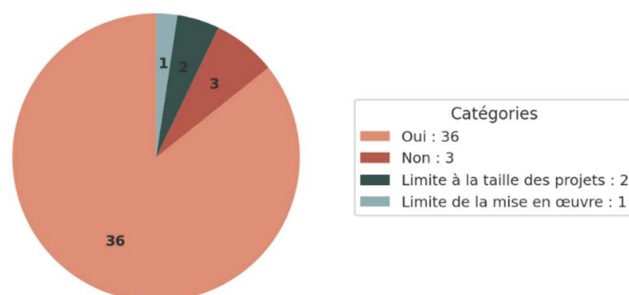


Figure 45. Résultats questionnaire, étendre l'ACV à tous les secteurs de la construction

La quasi-unanimité des répondants (36 sur 43) répond oui à cette question. Cependant, des nuances apparaissent dans les commentaires :

- Certains estiment que la généralisation de l'ACV ne peut se faire qu'en adaptant les méthodes aux petits projets ou aux secteurs moins normés comme la rénovation.
- D'autres considèrent que la mise en œuvre est encore trop complexe ou coûteuse pour certaines typologies (logistique, bâtiments techniques).

Les architectes et les ingénieurs se montrent globalement favorables à une extension, tandis que quelques promoteurs ou maîtres d'ouvrage évoquent des freins opérationnels, notamment financiers ou liés à la disponibilité des données.

4.1.1.6 L'ACV et son impact

Seriez-vous intéressé(e) à réaliser des Analyses de Cycle de Vie dans le futur ?

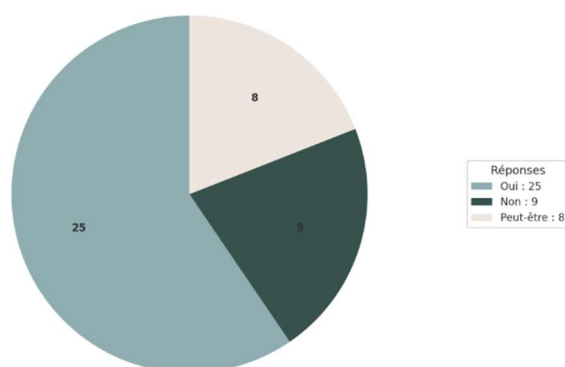


Figure 46. Résultats questionnaire, intérêt pour réaliser des ACV dans le futur ?

Le fort taux de réponses positives confirme une appétence globale du secteur pour l'ACV, y compris chez des profils qui ne la pratiquent pas encore aujourd'hui. Les architectes, bureaux d'étude environnementaux et économistes de la construction sont les plus enthousiastes, tandis que certains maîtres d'ouvrage s'expriment en faveur d'un pilotage externe, bien que favorables à la démarche. Cela témoigne d'un potentiel de montée en compétence si des formations et outils adaptés sont mis à disposition.

Résultats

Pensez-vous que l'ACV doit être réalisée en interne ?

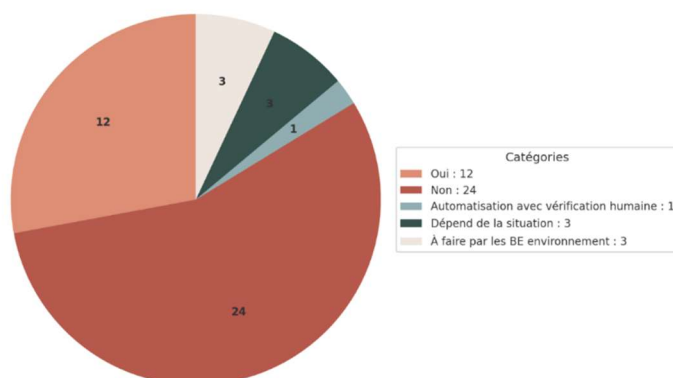


Figure 47. Résultats questionnaire, ACV à réaliser en interne

Les réponses sont partagées. Environ un quart estime que l'ACV doit être internalisée, notamment pour garder la maîtrise des arbitrages et pour renforcer la cohérence entre conception et stratégie environnementale. D'autres plaident pour une externalisation encadrée, ou pour une automatisation supervisée par un expert, traduisant une recherche d'efficacité sans sacrifier la rigueur. Les bureaux d'architecture engagés se montrent les plus favorables à l'internalisation, tandis que les promoteurs ou ingénieurs généralistes s'en remettent davantage à des spécialistes externes.

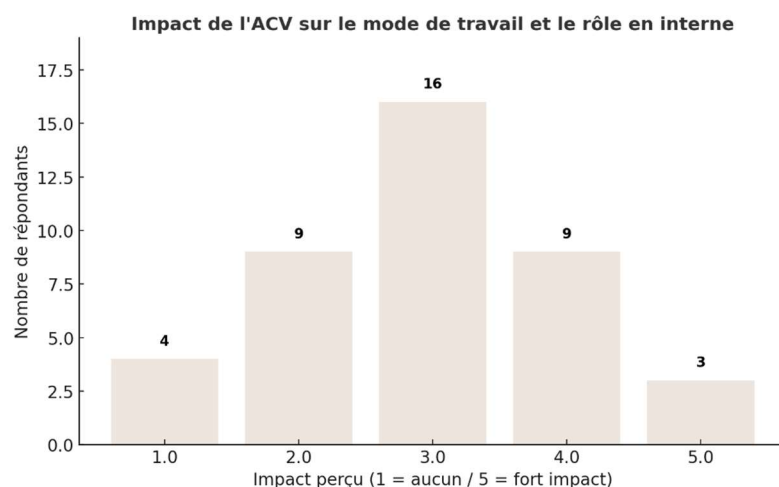


Figure 48. Résultats questionnaire, impact sur mode de travail et rôle en interne

L'impact est jugé significatif voire transformateur par une majorité de répondants. L'ACV est perçue comme un outil qui modifie les responsabilités, ajoute des tâches de coordination, mais aussi renforce la légitimité des concepteurs dans les arbitrages techniques et environnementaux. Les équipes de maîtrise d'œuvre sont les plus touchées : elles doivent intégrer l'ACV dès la phase esquisse, ce qui modifie les pratiques courantes. En revanche, certains acteurs en AMO ou MOA notent une distanciation : ils perçoivent l'impact plus en termes de reporting que de changement de posture.

Résultats

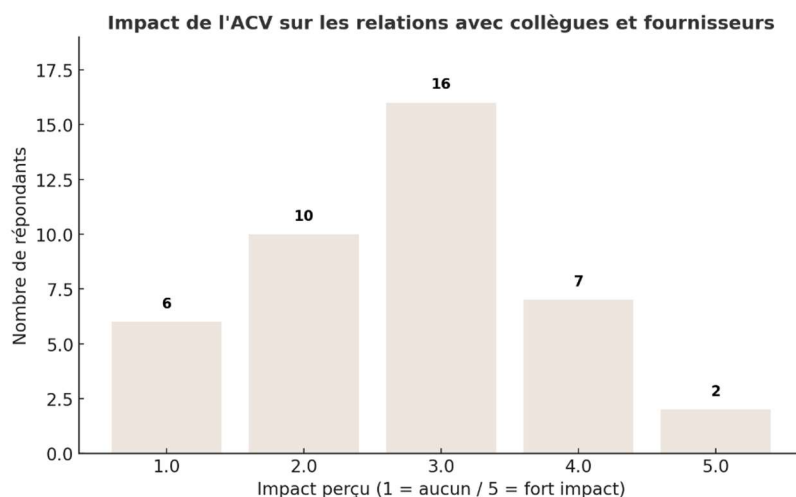


Figure 49. Résultats questionnaire, impact sur les collègues et fournisseurs

L'impact est évalué comme positif mais limité. Plusieurs répondants évoquent une meilleure coopération entre concepteurs et fabricants via des échanges de FDES/EPD. Cependant, la mise en œuvre concrète reste cloisonnée : le dialogue interdisciplinaire ne se déclenche pas toujours spontanément, surtout si l'ACV est conduite par un prestataire externe. Les bureaux d'études environnementaux notent que l'ACV peut servir de levier de dialogue, à condition que les autres acteurs y soient formés et sensibilisés.

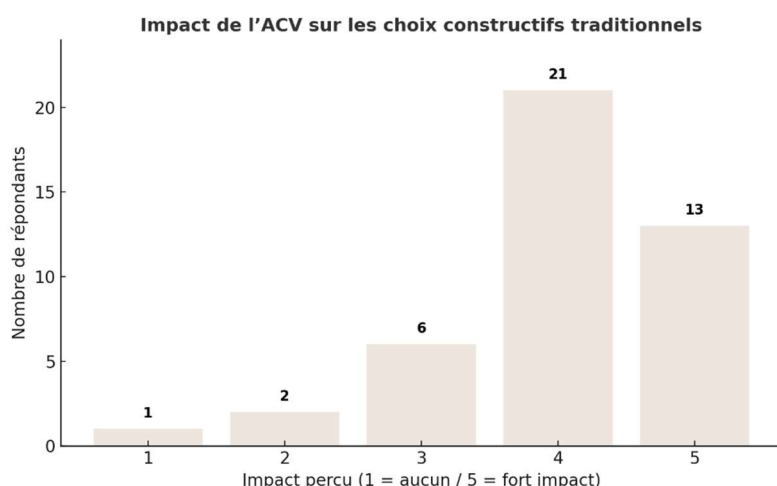
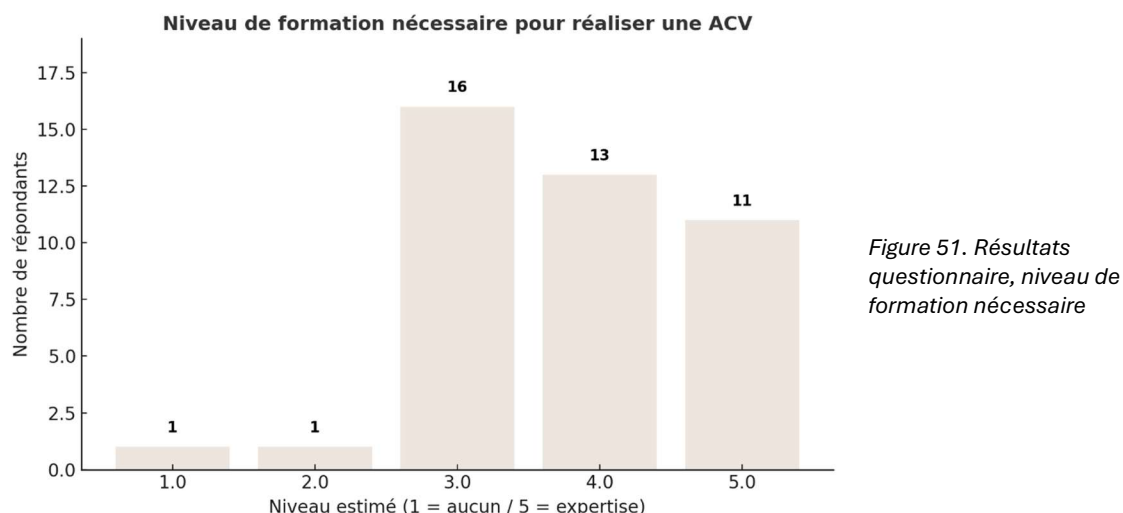


Figure 50. Résultats questionnaire, impact sur les choix constructifs

Les retours sont globalement très favorables. La majorité des répondants reconnaît que l'ACV bouscule les habitudes, notamment sur le choix des matériaux (préférence pour biosourcés, recyclables), la rationalisation des systèmes constructifs, ou la recherche de réversibilité et de démontabilité. Les architectes engagés, les économistes et les concepteurs techniques sont les plus nombreux à témoigner de cas concrets où l'ACV a permis de modifier un choix technique ou d'arbitrer entre variantes.

Résultats



Un consensus se dégage sur le fait que l'ACV requiert une formation spécialisée, même si les outils simplifiés se développent. Certains estiment qu'il faut au minimum :

- Maîtriser les principes de l'ACV (sources d'impacts, étapes, UF, etc.),
- Savoir naviguer dans les bases de données,
- Interpréter des résultats pour orienter les décisions.

4.1.1.7 La question ouverte

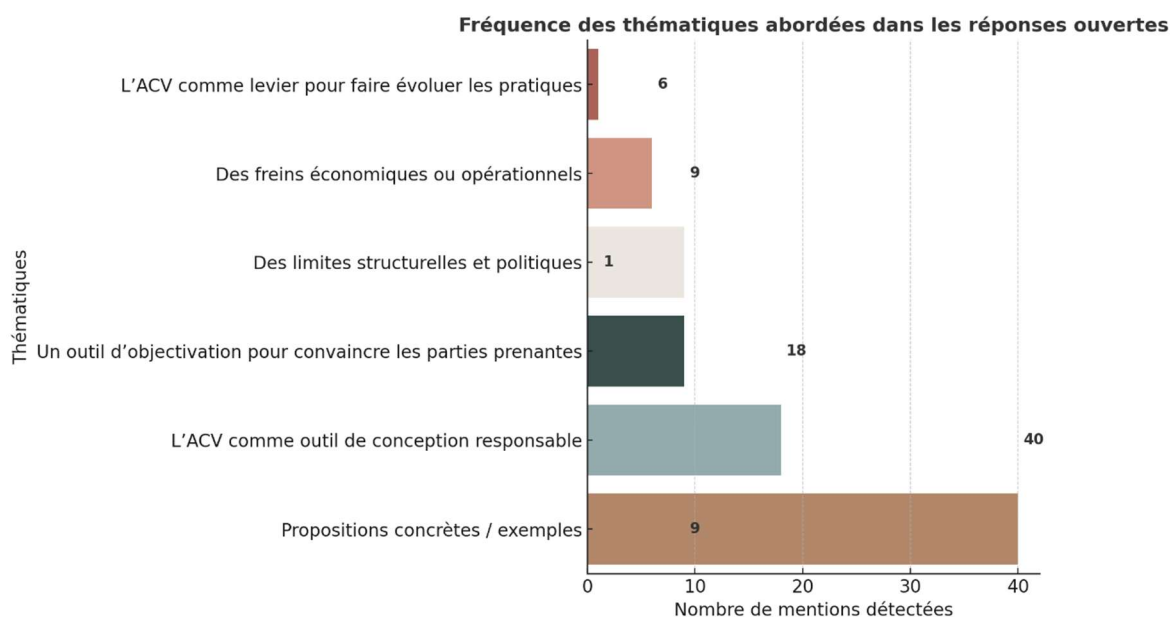


Figure 52. Analyse thématique de la question ouverte

Il est pertinent d'introduire l'analyse de la question ouverte « Selon vous, l'ACV est-elle une opportunité d'optimiser vos projets et de faire évoluer vos process ? » par une lecture thématique. Cette approche permet d'identifier les récurrences dans les propos des répondants, de structurer la diversité des opinions exprimées autour de grands axes d'analyse, et de dégager une vision d'ensemble des représentations associées à l'ACV. Elle offre ainsi une première grille de lecture qui, tout en synthétisant les tendances principales, permet d'orienter une exploration plus fine des discours. L'objectif est de faire émerger des lignes de réflexion, des points de tension ou

Résultats

encore des idées concrètes qui pourraient nourrir des analyses plus approfondies ou des pistes d'amélioration dans l'application opérationnelle de l'ACV.

Ce graphique met en évidence la prédominance des réponses portant sur l'ACV comme outil de conception responsable et comme levier concret via des exemples pratiques. Les arguments liés à l'objectivation des choix sont également fortement mobilisés. En revanche, les enjeux politiques, structurels ou liés à l'évolution des pratiques sont moins fréquemment évoqués, suggérant qu'ils restent en arrière-plan dans les perceptions actuelles. Afin de compléter l'analyse thématique quantitative, une lecture qualitative des réponses ouvertes a permis d'identifier plusieurs logiques argumentatives récurrentes, que nous avons regroupées sous quatre axes : typologie des attitudes, parcours d'application de l'ACV, types d'arguments mobilisés et profils professionnels.

Les attitudes exprimées par les répondants peuvent être classées en cinq catégories, allant de l'enthousiasme stratégique à une certaine forme de distance ou d'impuissance. Cette diversité illustre l'hétérogénéité du secteur et la perception encore contrastée de l'outil ACV.

Typologie d'attitude	Description	Nombre estimé
<i>Enthousiastes stratégiques</i>	Voient l'ACV comme levier clair de transformation	~12
<i>Utilisateurs pragmatiques</i>	Intéressés mais attachés à des cas concrets ou des gains mesurables	~10
<i>Freinés / contraints</i>	Expriment des blocages économiques, temporels ou humains	~7
<i>Observateurs critiques</i>	Pointent les limites structurelles ou les effets de seuils réglementaires	~6
<i>Non concernés</i>	Ont peu ou pas d'expérience concrète, ou se sentent déconnectés du sujet	~3

Tableau 14. Résultat question ouverte, typologie des attitudes

À la lecture des différentes réponses, plusieurs citations se distinguent et reflètent l'enthousiasme des participants à l'égard de l'ACV, tout en exprimant des nuances importantes. Elles ouvrent ainsi des pistes de réflexion sur les conditions nécessaires à une mise en œuvre pertinente et efficace de cette démarche.

"L'ACV est clairement une opportunité stratégique pour optimiser les projets et faire évoluer les processus." — Participant, promoteur immobilier

"C'est une opportunité si elle peut directement être comparée en termes de budget à un mode de construction traditionnel." — Cabinet d'architecture

"Tout est une question d'échelle de projet et de finances disponibles." — Économiste de la construction

L'analyse typologique des attitudes montre une majorité de répondants favorables à l'ACV, soit de manière stratégique, soit avec un pragmatisme conditionné par le contexte. En parallèle, une part non négligeable évoque des freins ou des limites, traduisant des tensions entre ambitions environnementales et réalités économiques. Cette diversité de postures reflète l'état de transition du secteur face à l'outil ACV.

Les réponses permettent de retracer les différents moments du projet où l'ACV peut intervenir. Ces moments illustrent la richesse d'application de l'outil : de la conception à la logistique, en passant par l'argumentation vis-à-vis des clients ou la structuration d'une approche circulaire.



Figure 53. Chronologie ACV donnée par résultats question ouverte

- Conception architecturale : permet de guider les choix initiaux.
"Elle permet de mieux cadrer les choix des matériaux dès le début de la conception du projet."
- Justification des variantes : soutient la logique comparative.
"Une ACV n'a de sens que par rapport à un objectif initial [...] elle permet de vérifier la pertinence des objectifs mais également d'arbitrer."
- Fin de vie / réversibilité : introduit une pensée long terme.
"Il faut intégrer la fin du bâtiment et les débouchés possibles pour les matériaux dès la phase conception."
- Logistique / sourcing : influence les circuits d'approvisionnement.
"Optimiser les transports des matériaux en privilégiant les circuits courts."
- Collaboration et interprofessionnalité : améliore la coordination entre métiers.

L'ACV intervient à plusieurs étapes clés du projet, depuis la conception jusqu'à la coordination interprofessionnelle. Elle guide les choix initiaux, justifie les décisions, anticipe la fin de vie des bâtiments et structure une logique circulaire. Cette diversité d'usages reflète la polyvalence de l'outil, à condition d'être intégré dès l'amont. Comme le dit l'un des participant dans sa réponse "Cela pousse à mieux collaborer entre équipes (MOE, MOA, fabricants)."

De plus, quatre grands types d'arguments sont régulièrement évoqués dans les réponses : environnementaux, économiques, techniques et institutionnels. Si les motivations environnementales sont dominantes, les contraintes économiques et les questions de gouvernance freinent l'appropriation.

Type d'argument	Exemples dans les réponses	Fréquence
Environnemental	Choix de matériaux biosourcés, réduction d'impact carbone	très élevée
Économique	Arbitrage budgétaire, comparaisons entre solutions techniques	moyen
Politico-institutionnel	Freins réglementaires, manque de vision à long terme	moyen
Technique	Outils de simulation, données, méthodes quantitatives	moyen

Tableau 15. Résultats question ouverte sondage, types arguments principaux

Les réponses fournissent une variété de cas réels, qui illustrent comment l'ACV est mobilisée dans des contextes très différents. Cela va de l'architecture artisanale à l'ingénierie industrielle, en passant par l'aménagement urbain ou la promotion immobilière. Ces récits ancrent l'ACV dans la réalité des projets.

Cas concret évoqué	Secteur ou type de projet
Usage de matériaux biosourcés et justification auprès de la maîtrise d'ouvrage	Architecture

<i>Projet (France): optimisation par pré-ACV, valorisation du réemploi et co-bénéfices territoriaux</i>	Ingénierie / Maîtrise d'ouvrage
<i>Comparaison d'isolants pour allier performance thermique et faible impact carbone</i>	Conception environnementale
<i>Optimisation des circuits de transport via circuits courts</i>	Logistique / gestion des matériaux
<i>Analyse de fin de vie pour bâtiments d'activités logistiques</i>	Conception industrielle
<i>Utilisation de l'ACV comme argument de négociation en phase de conception</i>	Promotion immobilière
<i>Remplacement de laine de verre par laine biosourcée malgré surcoût</i>	Maîtrise d'ouvrage
<i>Prise en compte du potentiel de démontabilité et de transformation du bâtiment</i>	Architecture / AMO

Tableau 16. Résultats question ouverte sondage, les cas concrets

4.1.2 Analyse des profils

Seules les données liées au contexte professionnel ont été retenues. Les informations personnelles (âge, sexe, nom, prénom) ont été exclues de l'analyse, afin de respecter la confidentialité des répondants tout en se concentrant sur les éléments en lien avec leur rôle dans le secteur de la construction.

Les profils ont été définis selon le secteur d'activité et le métier exercé, considérés comme plus représentatifs des postures que le type d'entreprise, qui peut regrouper des fonctions très différentes. L'ancienneté est prise en compte uniquement lorsqu'elle permet de faire ressortir une tendance notable.

4.1.2.1 Catégorisation des profils

Six grandes catégories de profils ont été retenues, en privilégiant une lecture par fonction ou domaine professionnel :

- Architectes et concepteurs
- Économistes de la construction
- Bureaux d'études techniques
- Bureaux d'études environnementaux / ACV
- Maîtres d'ouvrage / Promoteurs
- Autres profils (gestionnaires, ingénieurs généralistes, métiers non spécifiés)

Cette classification permet de structurer l'analyse en mettant en lumière les dynamiques propres à chaque famille de métiers.

4.1.2.2 Évaluation de l'intérêt pour l'ACV

L'objectif de cette section est d'identifier si les répondants manifestent une adhésion favorable ou réservée vis-à-vis de l'ACV, à travers plusieurs questions d'opinion : intérêt personnel, impact perçu, rôle souhaité de leur service, avis sur la généralisation de l'ACV à l'ensemble du secteur, etc.

En croisant ces éléments avec les profils définis, on observe que :

- Les architectes et les bureaux d'études environnementaux se montrent largement favorables à l'ACV, et sont les plus nombreux à souhaiter en prendre la responsabilité.

- Les économistes et bureaux d'études techniques se montrent également intéressés, mais conditionnent leur adhésion à des outils pratiques et une reconnaissance institutionnelle.
- Les maîtres d'ouvrage et promoteurs expriment un intérêt plus mesuré, préférant souvent déléguer l'ACV à des tiers.
- Les profils les plus éloignés de la conception montrent un intérêt variable, souvent corrélé à leur niveau de sensibilisation environnementale personnelle.

4.1.2.3 Évaluation du niveau de connaissance

L'évaluation du niveau de connaissance de l'ACV repose sur trois questions précises : les objectifs et cas d'application, les étapes de réalisation, et les outils utilisés. Une question complémentaire portait sur la qualité et la quantité de données nécessaires.

Les résultats montrent que :

- Les bureaux d'études ACV et les environmentalistes sont logiquement les plus expérimentés.
- Les architectes engagés montrent une bonne compréhension générale, mais peuvent manquer de maîtrise technique fine.
- Les maîtres d'ouvrage et les profils gestionnaires présentent souvent une connaissance partielle, et s'appuient davantage sur les retours de prestataires.
- Aucune corrélation stricte n'est visible entre l'ancienneté et la maîtrise de l'ACV, bien que certains profils expérimentés se montrent plus critiques sur ses limites.

4.1.2.4 Fiches profils types

Profil	Intérêt pour l'ACV	Connaissances	Citation / Spécificité
Architectes et concepteurs	●●●●●	●●●●○	« L'ACV nous sert à démontrer à nos MOA que notre solution est vertueuse. »
Économistes de la construction	●●●○○	●●○○○	Dépendent du contexte réglementaire et des outils pour s'impliquer.
Bureaux d'études techniques	●●●○○	●●●○○	Recherchent des méthodologies claires et cadrées.
Bureaux d'études environnementaux / ACV	●●●●●	●●●●●	Citent des cas concrets. Rôle clé de conseil et de diffusion.
Maîtres d'ouvrage / Promoteurs	●●○○○	●●●○○	Préfèrent piloter plutôt que produire eux-mêmes les ACV.
Autres profils	●●○○○	●○○○○	Intérêt très variable. Potentiel relais stratégique si bien formés.

Tableau 17. Résultats questionnaire, fiche profils

4.1.3 Les résultats aux questions issues de l'analyse croisée

4.1.3.1 Qa : Est-ce que certains métiers sont identifiés comme moteurs dans la réalisation ou la demande d'ACV ?

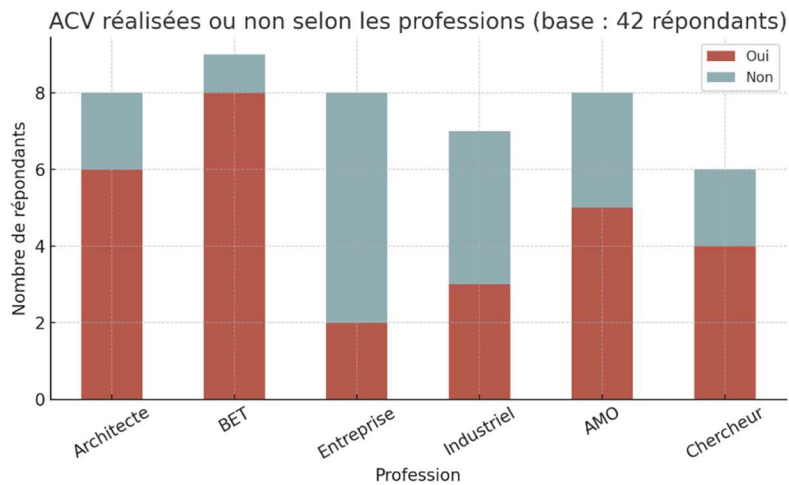


Figure 54. Résultats questionnaire, Question A : histogramme empilé

Les données utilisées sont :

- Q8 : Secteur ou métier déclaré par le répondant
- Q13 : Réalisation ou demande d'ACV (oui/non)

Les données ont demandé d'être reprises :

- Nettoyage des réponses atypiques :
 - "Réalise des" → recodé en "Oui"
 - "À la charge des BE" → recodé en "Non"
- Résultat : 41 réponses valides ont été conservées (1 réponse manquante supprimée).

On observe que certains profils comme les BET ou les architectes sont nettement plus représentés parmi ceux ayant déjà réalisé ou demandé une ACV. À l'inverse, les profils issus des entreprises ou de l'industrie sont sous-représentés. Cela confirme que les missions de conception sont plus fréquemment impliquées dans les démarches ACV que les métiers d'exécution ou de fabrication.

4.1.3.2 Qb : Est-ce que l'ancienneté professionnelle influence le niveau de connaissance sur les sujets ACV ?

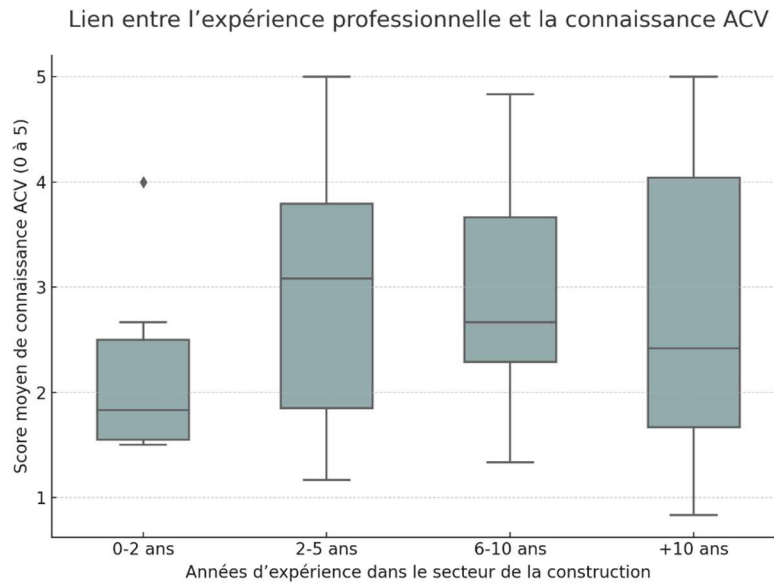


Figure 55. Résultats questionnaire, Question B' : boxplot

Pour cette analyse, l'objectif était de vérifier s'il existe une corrélation entre l'expérience professionnelle dans le secteur de la construction et le niveau de connaissance perçue des répondants sur les sujets liés à l'Analyse de Cycle de Vie (ACV). Un diagramme boîte à moustache a été réalisé pour visualiser la répartition des scores de connaissance selon différentes tranches d'ancienneté. Les données proviennent du questionnaire transmis aux professionnels du secteur. Les variables exploitées pour établir un score moyen de connaissance sont les suivantes :

- Avez-vous déjà réalisé/participé ou demandé une ACV ? (5 = oui, 0 = non, 1 = demandé à un bureau d'étude)
- Estimez votre niveau de connaissance :
 - Sur les objectifs et cas d'application de l'ACV
 - Sur la mise en place et les étapes de réalisation de l'ACV
 - Sur les outils utilisés pour réaliser une ACV
- Avez-vous connaissance de la qualité et de la quantité de données nécessaires à une ACV ? (5 = oui, 0 = non)
- Évaluez votre niveau de connaissance sur les réglementations environnementales en vigueur dans votre pays

Chaque réponse a été recodée sur une échelle de 1 à 5, puis une moyenne par participant a été calculée. Les années d'expérience ont été regroupées en 4 catégories : « 0-2 ans », « 2-5 ans », « 6-10 ans » et « +10 ans ». Le graphique montre une légère progression du score moyen de connaissance en fonction de l'ancienneté. La médiane augmente avec l'expérience, en particulier à partir de 6 ans, bien que la dispersion reste importante. On observe une tendance générale à une meilleure connaissance de l'ACV chez les profils les plus expérimentés, ce qui semble cohérent avec une exposition accrue au sujet dans la pratique professionnelle. Toutefois, la

Résultats

variabilité dans chaque catégorie montre que certains jeunes profils peuvent également être bien informés, et qu'il n'y a pas de lien automatique ou systématique. Cette analyse suggère que l'ancienneté joue un rôle, mais n'explique pas à elle seule le niveau de connaissance : d'autres facteurs comme la spécialisation ou la culture d'entreprise peuvent intervenir.

4.1.3.3 Qc : Est-ce que plus on a de connaissances sur l'ACV, plus on considère qu'il est pertinent de l'appliquer dans le secteur ?

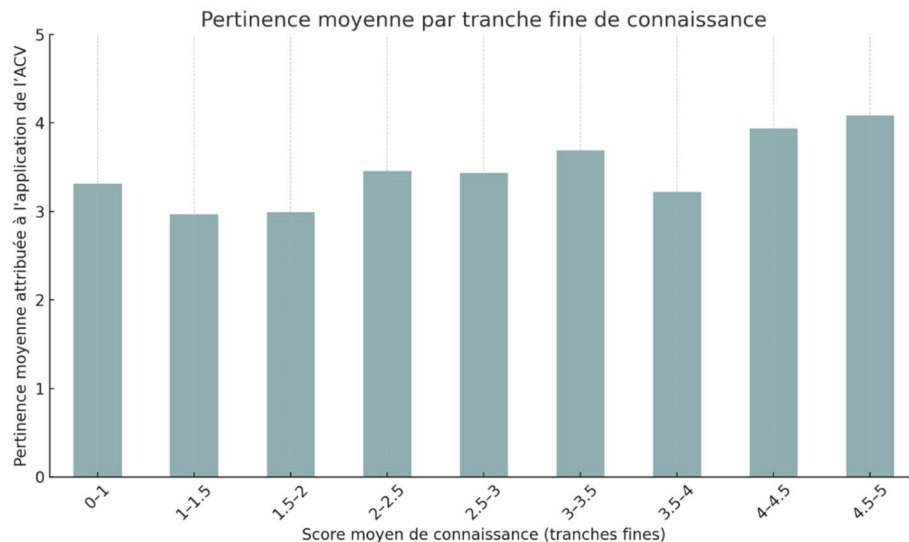


Figure 56. Résultats questionnaire, Question C : diagramme à barre

Pour répondre à la question « Est-ce que plus on a de connaissances sur l'ACV, plus on considère qu'il est pertinent de l'appliquer dans le secteur ? », un score moyen de connaissance a été calculé pour chaque répondant, en combinant plusieurs questions du questionnaire. Ces questions portaient sur :

- La réalisation effective d'ACV,
- Les objectifs et cas d'application de l'ACV,
- Les étapes de mise en œuvre,
- Les outils utilisés,
- Les données nécessaires,
- La connaissance des réglementations environnementales.

Chaque réponse a été recodée sur une échelle de 0 à 5 :

- Oui = 5
- Non = 0
- Je ne sais pas = 2.5 (lorsque cette option était proposée)

Ensuite, un score moyen de connaissance a été attribué à chaque participant. En parallèle, on a utilisé la note donnée à la question d'évaluation de l'intérêt d'appliquer l'ACV dans le secteur de la construction (échelle de 1 à 5) pour obtenir un score de pertinence. Les résultats ont été regroupés par tranches fines de score moyen de connaissance (intervalle de 0.5 point), afin

d'obtenir un diagramme à barre clair représentant la pertinence moyenne attribuée à l'ACV pour chaque tranche. Le graphique montre que l'intérêt attribué à l'ACV reste globalement élevé et relativement stable, quel que soit le niveau de connaissance exprimé. On observe cependant une légère tendance à la hausse : les répondants ayant un score de connaissance plus élevé attribuent en moyenne une note de pertinence plus forte à l'ACV. Cela confirme une corrélation positive modérée entre connaissance et adhésion à la démarche, sans que cette relation soit parfaitement linéaire. Cela peut s'expliquer par :

- Un biais de confirmation : ceux qui s'intéressent à l'ACV en ont une meilleure image,
- Ou bien une diffusion des discours environnementaux qui touche même les moins experts.

4.1.3.4 Qd : Est-ce que certains types d'entreprise sont plus avancés que d'autres dans l'intégration de l'ACV ?

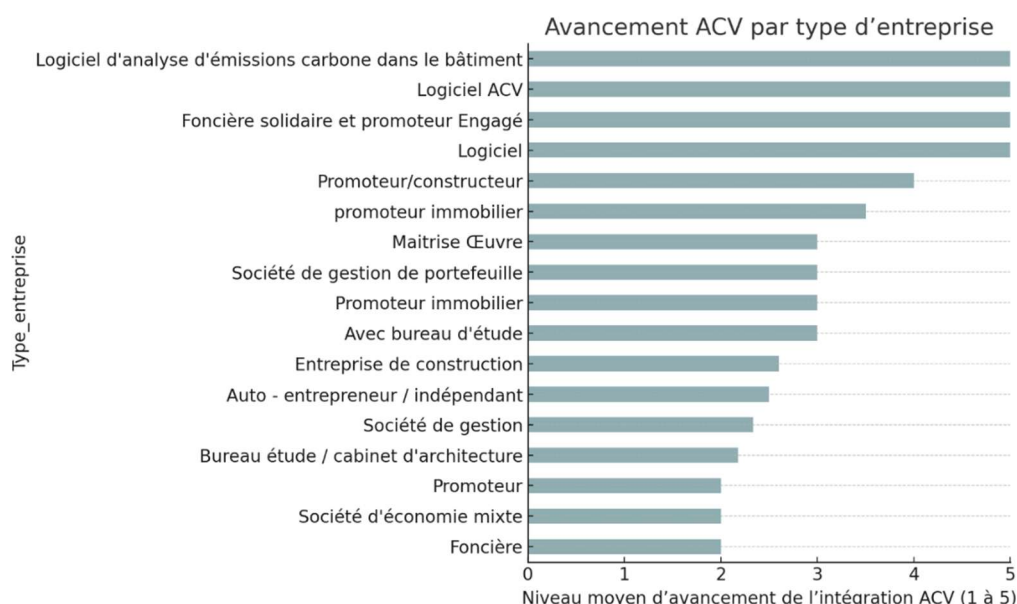


Figure 57. Résultats questionnaire, Question E : diagramme à barre

On a croisé :

- La question « Type d'entreprise » (Q12) avec
- La question « Estimez le niveau d'avancement de votre entreprise sur ce sujet » (Q15), notée sur une échelle de 1 à 5.

Pour chaque type d'entreprise, on a calculé la moyenne du niveau d'avancement perçu, puis représenté le tout dans un diagramme barre horizontal.

On observe que certains types d'acteurs (par exemple les bureaux d'études ou grandes entreprises) se déclarent globalement plus avancés dans l'intégration de l'ACV. Ce graphique permet d'identifier les structures motrices ou au contraire les milieux encore peu engagés.

C'est une information précieuse pour orienter les politiques d'accompagnement ou de formation.

4.1.3.5 Qe : Est-ce que les personnes ayant réalisé des ACV perçoivent un impact concret sur leur métier/ secteur ?

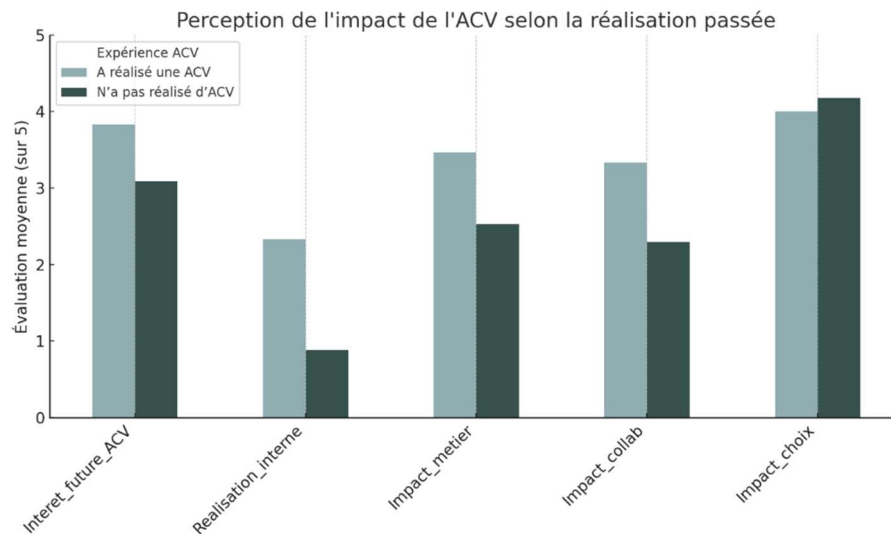


Figure 58. Résultats questionnaire, Question F : diagramme à barre

Pour produire ce graphique, les réponses des participants à plusieurs questions ont été utilisées, en distinguant deux groupes :

- Ceux ayant réalisé ou participé à une ACV (réponse "oui")
- Ceux n'ayant jamais réalisé d'ACV (réponse "non")

Les questions utilisées sont :

- Réalisation d'ACV (Q13)
- Intérêt futur à réaliser des ACV (Q34) → recodé : Oui = 5 / Non = 0 / Peut-être = 2.5
- Réalisation en interne (Q32) → recodé pareil
- Impact sur le travail interne (Q33) → échelle 1 à 5
- Impact sur la collaboration (Q35) → échelle 1 à 5
- Impact sur les choix constructifs (Q36) → échelle 1 à 5

On a calculé la moyenne des réponses par groupe, puis affiché ces moyennes dans un diagramme barre comparatif. Les personnes ayant déjà réalisé une ACV donnent globalement des évaluations plus élevées sur tous les aspects :

- Elles perçoivent un impact plus fort sur leur métier et les relations professionnelles.
- Elles sont plus favorables à l'intégration en interne.
- Leur intérêt pour reproduire l'expérience à l'avenir est plus fort. Cela montre que l'expérimentation réelle de l'ACV renforce la reconnaissance de sa pertinence et de son utilité dans la pratique professionnelle.

Résultats

4.1.3.6 Qf : Est-ce que les personnes plus informées sont plus favorables au renforcement de la réglementation ACV ?

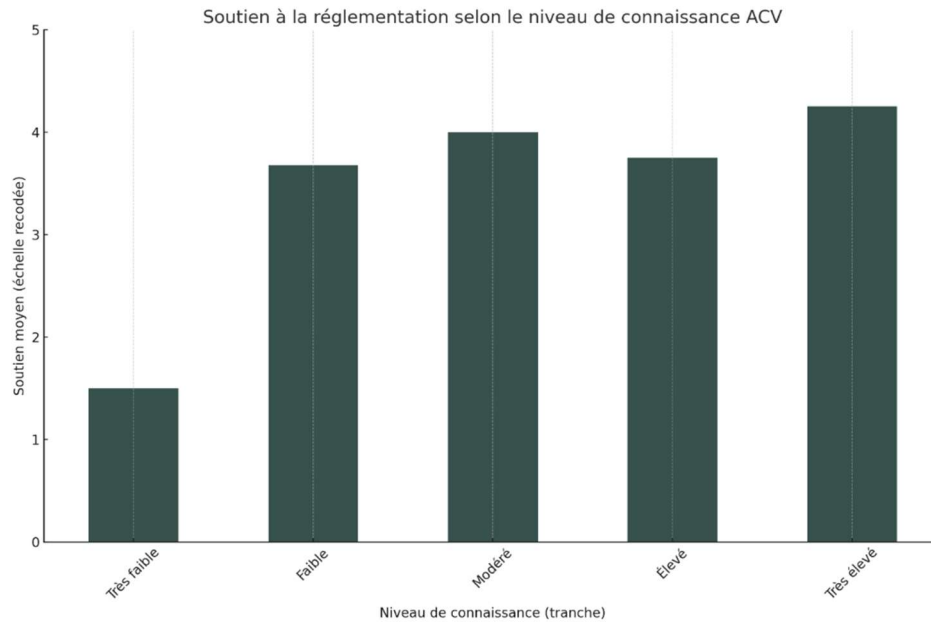


Figure 59. Résultats questionnaire, Question G : diagramme à barre

Pour évaluer le lien entre niveau de connaissance sur l'ACV et soutien au renforcement réglementaire, nous avons :

1. Calculé un score moyen de connaissance basé sur 5 questions clés (objectifs, étapes, outils, données, réglementation).
 - Pour les réponses Oui = 5, Non = 0, NSP = 2.5.
2. Codé manuellement les réponses libres sur la réglementation (question Q27) en une note de soutien sur 5.
3. Découpé les scores de connaissance en tranches (Très faible à Très élevé).
4. Calculé la moyenne des scores de soutien par tranche.

On observe une tendance légèrement croissante : les personnes avec un niveau élevé ou très élevé de connaissances affichent en moyenne un soutien plus marqué à la réglementation environnementale.

Cela suggère que la sensibilisation et la compréhension des enjeux de l'ACV encouragent une attitude plus favorable à l'évolution du cadre légal.

4.1.3.7 Qg: Est-ce qu'un fort intérêt environnemental personnel se traduit par un engagement environnemental professionnel ?

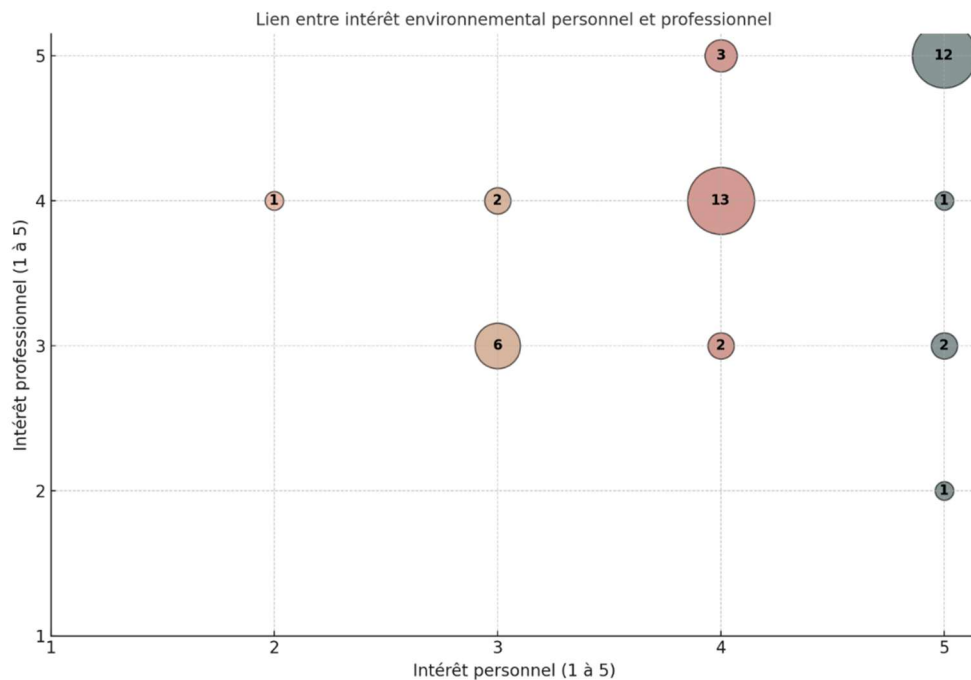


Figure 60. Résultats questionnaire, Question H : scatter plot

Pour répondre à cette question, nous avons croisé deux variables issues du questionnaire :

- Q17 – Intérêt environnemental personnel (échelle de 1 à 5)
- Q18 – Intérêt environnemental professionnel (échelle de 1 à 5)

Chaque répondant a été représenté par une bulle sur un graphique en nuage de points (scatter plot).

- L'axe des abscisses correspond à l'intérêt personnel.
- L'axe des ordonnées correspond à l'intérêt professionnel.
- Lorsque plusieurs répondants ont donné les mêmes réponses, une bulle unique est utilisée, avec :
 - Taille proportionnelle au nombre de répondants
 - Couleur liée au niveau d'intérêt personnel (de plus clair à plus foncé selon la palette personnalisée)

L'analyse du graphique montre une tendance claire à la cohérence entre intérêt personnel et professionnel :

- La majorité des bulles sont alignées en diagonale du bas gauche vers le haut droit.
- Les plus grandes bulles (représentant plusieurs répondants) se situent majoritairement entre les niveaux 3 à 5, ce qui montre que les personnes avec un intérêt personnel élevé sont souvent celles qui affichent aussi un engagement professionnel fort.

Résultats

- On observe très peu de cas de dissonance (intérêt perso fort / intérêt pro faible, ou inversement), ce qui suggère que les convictions personnelles influencent fortement la posture professionnelle vis-à-vis des sujets environnementaux.

4.1.3.8 Qh : Est-ce que certains secteurs estiment plus fortement l'impact actuel de l'ACV ?

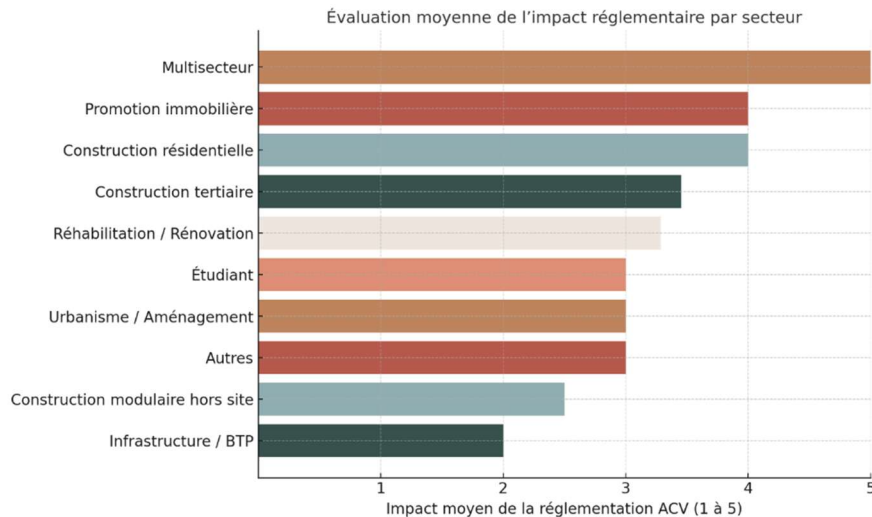


Figure 61. Résultats questionnaire, Question I : diagramme barre

Pour répondre à cette question, nous avons croisé deux informations du questionnaire :

- Q9 – Secteur d'activité du répondant
- Q29 – Estimation de l'impact de la réglementation pour soutenir les démarches ACV dans votre pays (notation sur une échelle de 1 à 5)

Les secteurs ont été reclassés manuellement en 10 grandes catégories homogènes afin de lisser les réponses et d'améliorer la lisibilité des comparaisons. Pour chaque secteur, on a calculé la moyenne des évaluations données par les répondants. Les résultats ont ensuite été représentés dans un graphique à bulles et dans un diagramme barre horizontal, avec une échelle fixe (1 à 5), et des couleurs issues d'une palette personnalisée.

Le graphique montre une variation significative dans la perception de l'impact actuel de la réglementation ACV selon les secteurs :

- Les secteurs multi secteurs, promotion immobilière et construction tertiaire se situent parmi ceux qui perçoivent l'impact comme plus élevé.
- À l'inverse, les profils issus de la réhabilitation / rénovation, de l'urbanisme / aménagement ou de l'infrastructure / BTP ont une perception plus modérée voire faible de cet impact.

Ces différences peuvent s'expliquer par :

- Le degré d'exposition réglementaire dans chaque domaine
- Le niveau d'intégration réel de l'ACV dans les pratiques professionnelles
- Ou encore par la maturité des outils et des exigences sectorielles.

Résultats

Ce croisement met donc en évidence que la perception de l'ACV n'est pas uniforme sur le marché, et qu'elle est fortement influencée par le type d'activité exercée.

4.1.3.9 Qi : Est-ce que certains métiers ou secteurs partagent des perceptions similaires dans les réponses ouvertes ?

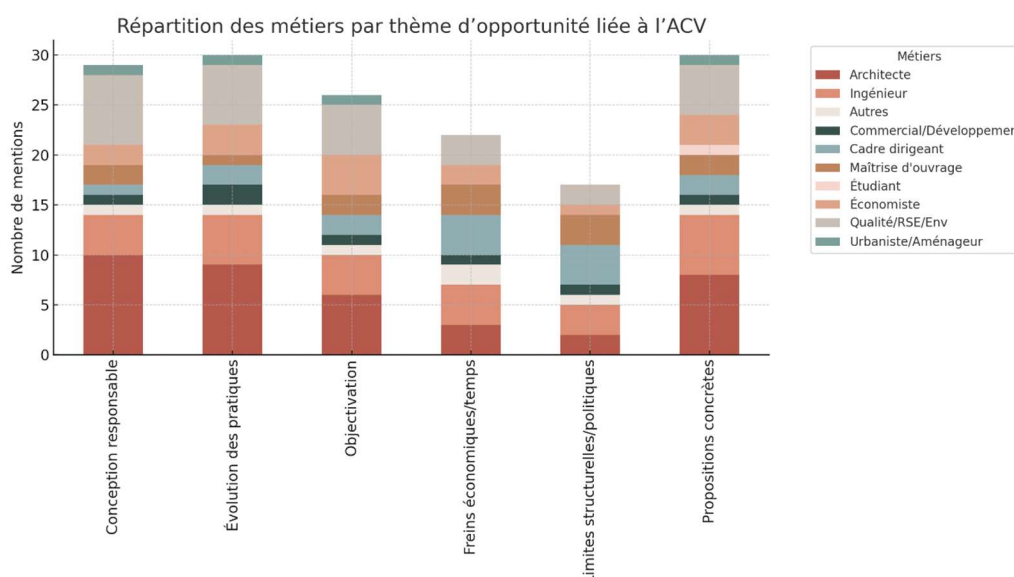


Figure 62. Résultats questionnaire, Question J : histogramme empilé

L'approche adoptée repose sur une analyse thématique croisée :

1. Codage des réponses ouvertes : Chaque réponse a été découpée en segments significatifs, puis associée à un ou plusieurs thèmes identifiés comme récurrents (conception responsable, évolution des pratiques, etc.).
2. Attribution métier : Chaque réponse a été liée à la fonction professionnelle du répondant, reclassée dans une des 10 grandes familles métier (architecte, ingénieur, etc.).
3. Croisement par thème / métier : Les thèmes les plus fréquents ont été quantifiés, puis triés selon la provenance métier, afin d'observer les affinités, postures dominantes ou absences notables.

Cette méthode permet d'objectiver les représentations et de faire apparaître des logiques propres à certains métiers. Les architectes sont les plus nombreux à évoquer l'ACV comme levier de conception : ils parlent d'optimisation des matériaux, d'enveloppe pérenne, de réversibilité ou de justification auprès des MOA.

« L'ACV nous sert plutôt à démontrer à nos MOA que notre solution est vertueuse. »

Les bureaux d'études environnement mobilisent un vocabulaire très technique et citent des méthodes précises, ce qui les distingue. Ils insistent aussi sur la logique comparative et l'analyse d'alternatives.

« Nous réalisons des analyses exhaustives de l'impact de projets via des analyses ACV. Nous classons les impacts, établissons des variantes... »

Les économistes évoquent peu l'ACV spontanément, mais lorsqu'ils le font, ils parlent souvent de réduction d'impact économique et logistique.

« Un exemple serait l'optimisation des transports des matériels et matériaux en privilégiant les circuits courts. »

Les métiers concepteurs (architectes, ingénieurs, BET) s'approprient l'ACV en lien avec leur rôle de prise de décision technique. Les acteurs de l'environnement ou de la qualité cherchent à outiller les projets pour en prouver la performance. Les profils stratégiques ou développeurs (MOA, cadres dirigeants, commerciaux) sont souvent plus en retrait, évoquant l'ACV comme contrainte ou comme stratégie externe, mais rarement comme outil intégré à leur métier. Cela confirme que l'ancrage métier influence fortement la perception de l'ACV : outil de conception pour certains, outil de valorisation ou de contrainte pour d'autres.

4.1.4 Conclusions du questionnaire

L'ACV est désirée et perçue comme utile mais peu systématique : elle se déclenche surtout sous l'effet d'exigences réglementaires/clients et des appels d'offres, plus rarement par réflexe interne. Les freins récurrents portent sur (i) la donnée (collecte, qualité, traçabilité, appariement BIM–quantitatifs–FDES/EPD), (ii) les ressources humaines (disponibilité, compétences dédiées), (iii) le temps/coût en phase de conception, et (iv) l'interopérabilité des outils. Les leviers identifiés sont la pré-ACV de cadrage (pour fixer des hypothèses, cibler les hotspots, prioriser les variantes), la standardisation des flux de données (règles d'appariement, contrôles qualité) et le pilotage par jalons (revues carbone aux points clés du projet). Les résultats cartographiés (ancienneté × niveau de connaissance ; répartition des impacts par type de choix ; matrice métiers × thèmes) confirment une hétérogénéité de maturité selon les profils et une sensibilité forte aux thèmes données, pré-ACV, coûts/temps et réemploi.

<i>Challenges, drivers et obstacles</i>	<i>Les principaux obstacles relèvent du temps (charges non facturées en amont), des compétences (besoin de formation/ressource dédiée), de la donnée (qualité/interopérabilité) et des outils (couplage BIM–ACV). Les drivers sont la réglementation, la demande MOA/AO, et la recherche de différenciation (qualité, image, performance).</i>
<i>Prise en charge selon structures/réglementations</i>	La prise en charge varie avec la taille et la maturité numérique des organisations : plus l'entreprise est structurée, plus l'internalisation partielle (pré-ACV, coordination des données) est envisageable, avec recours ciblé aux bureaux spécialisés pour la conformité et les pics de charge. Les contextes réglementaires forts accélèrent cette structuration.
<i>ACV comme levier d'innovation/conscience</i>	La mise en place d'une pré-ACV et de boucles d'itération outillées crée un apprentissage collectif (référentiels internes, check-lists, retours d'expérience), fait évoluer les rôles (référents ACV, comités carbone), stimule des offres et des procédures ACV-clés en main, et alimente la sensibilisation des équipes et des partenaires industriels.
<i>Modalités d'intégration (interne vs externe)</i>	Le schéma hybride domine : internaliser ce qui sert la décision (pré-ACV, scénarios, gouvernance des données) et externaliser ce qui sécurise la conformité/calculs ou absorbe les pics de charge. On observe aussi la transition des bureaux d'études thermiques vers l'ACV (couplage énergie–carbone), agissant comme passerelle dans l'organisation.

Tableau 18. Réponses aux sous-questions du questionnaire

4.2 Les entretiens semi-dirigés

4.2.1 Analyse des profils

Personne	Métier
Personne 1	Responsable environnement (entreprise générale de construction)
Personne 2	Urbaniste indépendant (Avignon)
Personne 3	Ingénieur architecte (bureau d'études – Bruxelles)
Personne 4	Chargé d'opérations (maîtrise d'ouvrage)
Personne 5	Responsable commercial (plateforme ACV)
Personne 6	Fondateur et responsable innovation (éditeur de logiciel ACV)
Personne 7	Directrice de projet (foncière – bâtiments industriels)
Personne 8	Chargé de développement foncier (promotion immobilière)
Personne 9	Responsable produit (éditeur de plateforme ACV)

Tableau 19. Récapitulatif des interviewés et métiers

L'analyse des profils permet de contextualiser les entretiens et de mieux comprendre comment les discours sont influencés par la fonction, la structure, le niveau de responsabilité ou la proximité avec l'ACV. Cela aide à saisir les motivations, freins et perceptions spécifiques à chaque type d'acteur. Elle est aussi précieuse pour identifier les profils réellement en contact avec l'ACV, qu'ils la réalisent, la prescrivent, l'argumentent ou la développent. Les 9 profils interrogés couvrent une diversité de situations professionnelles :

- Des responsables environnement au sein d'entreprises générales de construction,
- Des acteurs de la maîtrise d'ouvrage ou de la promotion immobilière,
- Des architectes et urbanistes,
- Des chargés de développement foncier,
- Des professionnels issus de plateformes logicielles ACV (produit ou innovation),
- Ou encore des commerciaux engagés sur les sujets carbone.

Cette diversité reflète la multiplicité des points de contact avec l'ACV, entre opérationnel, stratégie, conception et vente. Malgré leurs différences, tous expriment une forme de prise de conscience de l'importance croissante de l'ACV, même si les niveaux de connaissances et d'implication sont hétérogènes. Trois dimensions ont été analysées pour chaque profil, à partir de l'analyse fine des verbatims :

- L'intérêt personnel pour les sujets liés à l'ACV et à l'environnement,
- L'intérêt professionnel pour l'ACV dans les pratiques de projet,
- Le niveau de connaissance de l'ACV (théorique ou expérimentiel).

Chaque dimension a été évaluée selon une grille fixe allant de "faible" à "très fort", en s'appuyant exclusivement sur des indicateurs repérés dans le discours (exemples concrets, verbes d'action, mention d'outils ou de normes, prise d'initiative, etc.). Les scores ont été représentés graphiquement à l'aide de bulles remplies (faible : ●○○○○ à fort : ●●●●●), ce qui permet une lecture rapide et visuelle des niveaux d'implication ou de maîtrise. Les niveaux d'évaluation des profils sont disponibles en annexe 13 et les fiches profils sont disponibles en annexe 14.

4.2.2 Analyse thématique

Cette section présente l'analyse thématique de neuf entretiens semi-dirigés réalisés dans le cadre du mémoire sur l'intégration de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) dans la construction. Le corpus comprend neuf professionnels anonymisés, identifiés uniquement par un numéro et un rôle. Les noms et entreprises d'origine ont été purgés et anonymisés. Aucun élément nominatif (personnes, entreprises, lieux précis) n'est conservé. Les extraits rapportés plus loin, lorsqu'utiles, restent strictement non identifiants. Le codage initial par repérage de similarité thématique (usages, freins/leviers, organisation, outils, données, marchés, indicateurs) est suivi d'une recherche consistant à agréger des verbatims redondant en sous-thèmes puis à les consolider en thèmes centraux. (Nowell et al., 2017)

On retrouve en annexe 7 l'arbre thématique et codebook qui ont permis d'obtenir les résultats.

<i>Thème 1 — Intégrer l'ACV très tôt (esquisse/faisabilité)</i>	
<i>Résultat</i>	Tous les profils insistent sur un cadrage amont : la pré-ACV donne des ordres de grandeur, fixe une ambition réaliste et évite des impasses de fin de conception.
<i>Analyse</i>	L'« anticipation ACV » fonctionne comme un garde-fou de conception. Elle permet d'arbitrer entre variantes (structure/enveloppe/systèmes) avant d'enclencher des coûts irréversibles. Pour les MOA (Personnes 4, 7, 8), cela sécurise le triptyque coût-délai-carbone ; pour MOE/BE (Personne 3) et entreprise générale (Personne 1), elle réduit les itérations non productives.
<i>Thème 2 — Réglementation, déclencheur incomplet</i>	
<i>Résultat</i>	Les cadres réglementaires stimulent la demande mais n'embrassent pas toutes les typologies ; de nombreuses organisations mobilisent l'ACV pour se différencier et gagner des concours/marchés.
<i>Analyse</i>	L'ACV est à la fois poussé par le critère de conformité et du marché. Cette dualité explique la variété des métriques mises en avant (indicateurs réglementaires vs indicateurs « parlants » pour investisseurs/clients).
<i>Thème 3 — Culture de la donnée (collecte, qualité, traçabilité)</i>	
<i>Résultat</i>	Les difficultés récurrentes portent sur la disponibilité de FDES spécifiques, l'actualisation des bases et l'alignement nomenclatures BIM↔bases.
<i>Analyse</i>	La donnée ACV est un actif organisationnel : sans gouvernance (propriété, versioning, mapping), l'effort de calcul se perd en nettoyage et saisie multiple. Les entreprises performantes établissent des référentiels internes (catalogues « maison », règles d'appariement, bibliothèques validées) et suivent les versions des jeux de données utilisées.
<i>Thème 4 — Contraintes temps/budget et arbitrages</i>	
<i>Résultat</i>	Les délais serrés et la pression sur le coût global conduisent à des renoncements (solutions bas carbone jugées risquées/longues).
<i>Analyse</i>	En pratique, l'ACV devient un critère de second rang si son effet sur coût/délai est mal objectivé. D'où l'intérêt d'indicateurs synthétiques (temps de retour carbone) et de paquets d'options calibrés (gain carbone vs surcoût/planning) pour décider vite.
<i>Thème 5 — Conduite du changement & organisation transversale</i>	
<i>Résultat</i>	Mise en place de référents par service, comités de validation, REX inter-projets.
<i>Analyse</i>	L'ACV n'est pas qu'un calcul : c'est une transformation de processus. Les réussites observées combinent sponsorship direction, rôles clairs (économie, achats, travaux) et boucles de capitalisation (bibliothèques de solutions, retours chiffrés).
<i>Thème 6 — Outils & intégration BIM-ACV</i>	
<i>Résultat</i>	Chaîne typique : quantitatifs depuis la maquette → mapping vers bases ACV (INIES/TOTEM/One Click/plateformes) → consolidation par macro-objets.
<i>Analyse</i>	Les gains viennent surtout de la standardisation (gabarits, noms de familles, règles de mapping) et de l'automatisation (scripts d'export, appariement semi-automatique), plus que du choix d'un outil unique.

<i>Thème 7 — Pré-ACV décisionnelle (foncier/variantes)</i>	
Résultat	Utilisée pour comparer des scénarios de foncier/implantation et des variantes (béton bas carbone, préfabrication, mixité constructive).
Analyse	La pré-ACV agit comme outil de stratégie : elle améliore la compétitivité en amont (offres, concours) et cadre des objectifs atteignables (carbone-budget-risque).
<i>Thème 8 — Qui fait l'ACV ? (interne/externe, équipe dédiée/surcouché)</i>	
Résultat	Trois modèles coexistent : (A) équipe ACV interne ; (B) modèle hybride (experts + contributeurs non spécialistes outillés) ; (C) externalisation ponctuelle (pics de charge, audits).
Analyse	Le modèle hybride est le plus applicable : il diffuse une culture commune tout en préservant l'expertise pour les cas complexes (ACV dynamique, réemploi, analyses de sensibilité).
<i>Thème 9 — Formation (socle commun)</i>	
Résultat	Besoin d'aligner les fondamentaux pour tous les métiers (MOA, MOE, économie, travaux, achats), au-delà de quelques spécialistes.
Analyse	La formation utile est contextualisée (cas réels, bibliothèques internes, gabarits BIM), complétée d'un coaching à la demande sur les sujets pointus.
<i>Thème 10 — Positionnement & communication (labels, preuves, « faire savoir »)</i>	
Résultat	Les donneurs d'ordre attendent des ordres de grandeur et des indicateurs compréhensibles ; les labels restent des repères de marché.
Analyse	Pour gagner en impact, traduire les résultats ACV en bénéfices décisionnels (ex. : X % d'émissions évitées vs variante de référence, temps de retour carbone < N ans, effet sur CAPEX/OPEX).
<i>Thème 11 — Réemploi & circularité</i>	
Résultat	Forte appétence mais obstacles de filières (disponibilités, assurance, traçabilité) ; mention croissante dans les cahiers des charges/concours.
Analyse	Le passage à l'échelle suppose des chaînes d'approvisionnement dédiées, des protocoles de preuve (traçabilité matière) et des ACV spécifiques intégrant incertitudes/variabilité.
<i>Thème 12 — Coût global, ACV dynamique, temps de retour carbone</i>	
Résultat	Intérêt pour intégrer remplacements/maintenance et pour articuler ACV avec coût global d'usage/exploitation.
Analyse	Ces approches permettent d'appuyer la décision : certaines solutions plus carbonées en fabrication peuvent être gagnantes sur le cycle complet. Les tableaux « carbone vs coût global » rendent les arbitrages explicites.
<i>Thème 13 — Productivité & automatisation</i>	
Résultat	Besoin d'accélérer l'appariement matériaux-données (IA), de stabiliser les nomenclatures et d'industrialiser les exports/imports.
Analyse	La productivité libérée doit être réinvestie dans l'optimisation (analyses de sensibilité, variantes, scénarios de fin de vie), pas uniquement dans la production de livrables.
<i>Thème 14 — Effets typologiques (industriel/logistique vs logement/bureau)</i>	
Résultat	Les actifs d'activité, plus standardisés, se prêtent mieux aux comparaisons ; la demande ACV explicite y est pourtant moins systématique que sur le logement/bureau.
Analyse	Construire des référentiels par typologie (benchmarks internes) pour accélérer la pré-ACV et objectiver les choix récurrents (dalles, structures, enveloppes).
<i>Thème 15 — Alignement multi-échelles et reporting (CSRD, taxonomie)</i>	
Résultat	Besoin de relier les résultats projet aux exigences de viabilité des décisions et aux attentes des investisseurs.
Analyse	Cela appelle une chaîne de valeur de la donnée : du composant (FDES) au portefeuille (indicateurs consolidés), avec contrôles qualité et traçabilité des hypothèses.

Tableau 20. Résultats analyse thématique des entretiens semi-dirigés

4.2.3 Les résultats aux questions issues des questions des entretiens

L'analyse croisée des neuf entretiens met en évidence un ensemble de tendances communes et de différences notables selon les profils, les métiers et le degré de maturité vis-à-vis de l'ACV. Dix axes d'analyse ont été dégagés à partir du codage inductif-déductif et de l'agrégation des codes en sous-thèmes.

Introduction et arrivée de l'ACV dans les pratiques

Dans l'ensemble des discours, l'ACV apparaît principalement par la pression réglementaire (RE2020, labels) ou dans le cadre de concours. La sensibilisation est récente pour beaucoup, mais la formation reste inégale selon les métiers. Une différence nette se dessine entre des acteurs proactifs — comme la Personne 7 (foncière), qui déclare : « J'avais poussé tous les projets... E+C- » — et ceux dont l'exposition reste limitée ou récente. Les éditeurs et plateformes (P6, P9) décrivent un ancrage plus ancien, centré sur la donnée et l'outillage. À l'opposé, l'urbanisme (P2) mobilise encore peu l'ACV à l'échelle territoriale.

Rôle et implication dans l'ACV

La production opérationnelle est majoritairement portée par les bureaux d'études et les plateformes ; les maîtres d'ouvrage et entreprises générales assurent la coordination et le cadrage des objectifs. Les divergences tiennent au rôle effectif : P3 (BE) se positionne sur la comparaison de variantes, P1 (entreprise générale) sur les métrés et l'intégration dans les achats, tandis que les plateformes (P5, P9) travaillent à l'appariement entre composants et bases de données.

Organisation et coordination des équipes

Tous les profils insistent sur le caractère pluridisciplinaire des équipes, généralement composées de trois à huit personnes, et sur la nécessité de boucles régulières entre interne et externe. Les maîtres d'ouvrage organisés (P4, P7) formalisent ces échanges via des jalons. P8 (promotion) note que la coordination dépend fortement du contexte, notamment en concours.

Documents et données mobilisés

Les références partagées sont la DPGF, les quantitatifs DCE, les exports BIM (Revit/IFC) et les FDES/INIES. La traçabilité et le mapping des données constituent un point critique récurrent. Les BE (P3) alternent entre outils selon le contexte et le niveau de détail ; les éditeurs (P6–P9) insistent sur la qualité du pipeline et des hypothèses.

Déploiement en entreprise

La séquence typique décrite est : projets pilotes → choix de plateforme → formation → formalisation des process. Certaines entreprises (P4, P7) ont expérimenté avant l'entrée en vigueur de la RE2020, souvent via des labels. Les éditeurs et plateformes (P6–P9) intègrent dès le départ les cadres extra-financiers (CSRD, Taxonomie, SFDR).

Freins rencontrés

Les freins partagés concernent la qualité et l'accès aux données, le temps nécessaire au traitement, le coût des solutions bas carbone et le manque de compétences internes. Des nuances apparaissent : P8 évoque la tension entre « faire » et « faire savoir », P7 pointe les risques liés au réemploi (assurance, filières), P2 souligne les limites d'application à l'échelle urbaine.

Intégration dans les processus

L'intégration amont (pré-ACV) est jugée déterminante par tous les profils. P5 souligne qu'une pré-ACV « avant le comité d'engagement » oriente mieux les choix ; P3 l'utilise pour comparer des variantes dès le début. L'urbanisme (P2) reste peu intégré à cette logique.

Points de perte de temps

Trois difficultés reviennent systématiquement : le nettoyage des quantitatifs, l'appariement FDES/INIES et les allers-retours avec les fournisseurs. Les BE (P1–P3) mettent l'accent sur le temps passé au métrage et au mapping, tandis que les plateformes (P5–P9) évoquent l'effort de formation et d'accompagnement des équipes clientes.

Améliorations et leviers identifiés

Les propositions convergent vers la standardisation des gabarits, l'automatisation de l'appariement (IA), la pré-ACV systématique et la formation. P7 insiste sur l'anticipation dès les premières étapes pour éviter de vivre l'ACV comme une contrainte, P9 met en avant l'intégration d'indicateurs comme le temps de retour carbone.

Évolutions observées et perspectives

Tous constatent une hausse de la demande, tirée par la RE2020 et les labels, ainsi qu'une montée d'indicateurs décisionnels. P8 observe des variations sectorielles de la demande, P7 déplore le manque de formation des maîtres d'œuvre (« Les architectes ne sont pas formés »), tandis que les éditeurs et plateformes (P6–P9) voient dans les cadres européens un accélérateur incontournable. P6 évoque le fait de mettre un prix sur le carbone et donc le carbone évalué devient en plus d'un argument environnemental, un argument financier.

Bilan transversal

Cette analyse montre des convergences fortes sur l'importance d'intégrer l'ACV très en amont, de fiabiliser les données et de standardiser les processus. Les divergences tiennent surtout à la maturité des organisations, aux contextes sectoriels et à la posture vis-à-vis de l'ACV (anticipation proactive ou réponse contrainte). L'évolution semble converger vers une ACV outillée, traçable et décisionnelle, connectée aux obligations extra-financières.

4.2.4 Les résultats aux questions issues de l'analyse croisée

ID	Question	Réponse (synthèse)	Accords forts	Divergences selon profils	Verbatims exacts (anonymisés)
QA	Métiers moteurs identifiés ?	Oui. Côté demande : MOA/foncières et promoteurs ; côté réalisation : BE/ingénieurs-architectes et entreprises générales ; éditeurs/plateformes catalysent la diffusion.	Demande tirée par MOA/foncières/promoteurs ; opérationnalisation par BE et entreprise générale ; rôle catalyseur des éditeurs/plateformes.	P7 pro-active via labels ; P5/P6 insistent sur l'interface multi-acteurs et la pré-ACV.	P7 (Foncière) : « J'avais poussé tous les projets pour qu'ils obtiennent, en plus du BREEAM, le label E+C- ». P6 (Éditeur logiciel) : « ... on travaille avec des fonds d'invest... des maîtrises d'ouvrage, ... des maîtrises d'œuvre, ... des constructeurs, ... des fabricants ». P5 (Plateforme ACV) : « ... faire une pré ACV ... avant le comité d'engagement ... ». P3 (BE) : « ... un outil de comparaison entre différentes propositions ... dans le processus de décision ». P2 (Urbaniste) : « ... l'analyse de cycle de vie comme outil ... pour

Résultats

					objectiver les impacts ... des choix territoriaux. »
QB	L'ancienneté influence-t-elle le niveau de connaissance ACV?	Tendance oui ; l'exposition récente et la formation comptent davantage que l'ancienneté pure ; hétérogénéité selon organisations.	La formation et l'exposition (cadres récents) pèsent plus que l'ancienneté.	P3 insiste sur la formation et l'interprétation ; P9 souligne des maturités hétérogènes lié à l'ancienneté et un manque de formation.	P7 (Foncière) : « Les architectes ne sont pas formés ». P8 (Promotion) : « Aujourd'hui, il y a la réglementation ... c'est la porte d'entrée ». P9 (Plateforme) : « ... différents niveaux de maturité sur le sujet. » ; « C'est manque de formation à ce niveau-là ... ».
QC	Plus on connaît l'ACV, plus on juge son application pertinente ?	Oui, nettement : utile pour arbitrer des variantes (structure, enveloppe, systèmes) et cadrer des ordres de grandeur.	Pratique ACV ↔ pertinence perçue élevée.	P3 : usage amont pour ordres de grandeur ; P5 : effets concrets des pré-ACV sur les choix.	P3 (BE) : « ... un outil de comparaison entre différentes propositions ... dans le processus de décision ». P5 (Plateforme) : « ... faire une pré ACV ... » ; « ... structure béton bas carbone ... ».
QD	Les personnes familières anticipent-elles davantage des impacts sur leur métier ?	Oui : impacts anticipés sur processus, compétences, outillage, achats/économie, reporting.	Familiarité ↔ anticipation accrue des changements de processus et d'outillage.	P6/P9 relie aux cadres UE (SFDR/CSRD/RE2020) ; P7 insiste sur l'anticipation amont pour éviter la contrainte subie.	P7 (Foncière) : « ... dès le début du projet ... en associant architectes ... économistes ». P9 (Plateforme) : « ... avec la taxonomie, ... jusqu'au niveau projet avec les réglementations à anticiper... ».
QE	Certains types d'entreprises sont-ils plus avancés ?	Oui : MOA/foncières et certains promoteurs plus engagés côté demande ; BE/entreprise générale moteurs en opérationnel ; éditeurs/plateformes structurants sur data/outils.	Avance côté demande (labels/concours) et structuration data/outils côté éditeurs.	P7 montre un pilotage par labels ; P6 souligne le rôle des cadres financiers (SFDR/CSRD) au niveau direction.	P4 (MOA) : « ... c'était avant que la RE 2020 soit réglementaire obligatoire ». P7 (Foncière) : « J'avais poussé tous les projets vers des certifications ». P6 (Éditeur) : « ... on travaille avec pas mal de maîtrises d'ouvrage ... ».
QF	Avoir déjà réalisé des ACV → impact concret sur les choix constructifs ?	Oui : orientation vers béton bas carbone, variantes d'enveloppe, optimisation systèmes.	Expérience ACV ↔ choix constructifs orientés bas carbone.	P5 insiste sur l'effet des pré-ACV ; P3 met l'accent sur ordres de grandeur amont avant le détail.	P5 (Plateforme) : « ... faire une pré ACV ... [qui] lui permet de voir que ... une structure béton bas carbone ... avantage ». P3 (BE) : « ... outil de comparaison ... ».
QG	Plus informé → plus favorable au renforcement de la réglementation ACV ?	Plutôt oui, avec prudence liée aux surcoûts/délais ; forte référence aux cadres RE2020 et extra-financiers (CSRD/Taxonomie/SFDR) .	Profil informés favorables à clarifier/exiger, tout en gardant des réserves pratiques.	P6/P9 citent la chaîne UE (SFDR/CSRD) ; P7 alerte sur la contrainte si non anticipée.	P9 (Plateforme) : « ... la taxonomie, la SFDR, la direction avec la CSRD ... jusqu'au niveau projet avec les réglementations ... ». P7 (Foncière) : « ... si tu rates ce coche-là, après tu vis le sujet environnemental presque comme une contrainte ».
QH	Fort intérêt environnemental personnel → engagement professionnel ?	Oui (tendance) : l'éthique/la recherche de sens se traduisent par des actions professionnelles.	Corrélation perçue entre motivation personnelle et engagement pro.	Signal plus marqué chez profils récents (témoignage P7).	P7 (Foncière) : « ... nouvelles générations ... plus sensibles au sens, à l'environnement, prêtes à faire des compromis ... si l'éthique est respectée ». P8 (Promotion) : « ... tu vas plus loin dans la partie environnementale ... ».
QI	Certains secteurs estiment-ils plus fortement l'impact actuel de l'ACV ?	Oui : logement/bureau impact fort (cadres/labels) ; industrie/logistique en montée mais demande ACV parfois moins explicite.	Reconnaissance plus forte dans logement/bureau ; dynamique émergente dans	P8 met en tension 'faire' vs 'faire-savoir' ; P7 cite des exigences élevées (E+C-) en industriel.	P8 (Promotion) : « ... aujourd'hui ... la réglementation ... c'est la porte d'entrée » ; « ... pas vu vraiment de concours où ... une analyse [ACV] ... ». P7 (Foncière) : « ... aller au-delà du Breeam ... E+C- ».

Résultats

QJ	Métiers/secteurs partagent-ils des perceptions similaires (réponses ouvertes) ?	Oui (convergences) : données/traçabilité, intégration amont (pré-ACV), contraintes temps/coûts ; divergences : réemploi (assurance/filières) et exigences concours.	industrie/logistique.		
			Consensus sur la centralité des données, la pré-ACV amont et les contraintes projet.	Urbanisme (P2) : regard territorial ; Promotion (P8) : accent communication/positionnement.	P6 (Éditeur) : « ... l'interprétation des données ... » ; « ... driver réglementaire ... ». P7 (Foncière) : « Les architectes ne sont pas formés » ; « ... dès le début du projet ... ». P5 (Plateforme) : « ... pré ACV ... ».

Tableau 21. Résultats aux questions croisées des entretiens

Pour une meilleure lecture des réponses aux questions croisées, les figures suivantes illustrent les réponses QB et QJ.

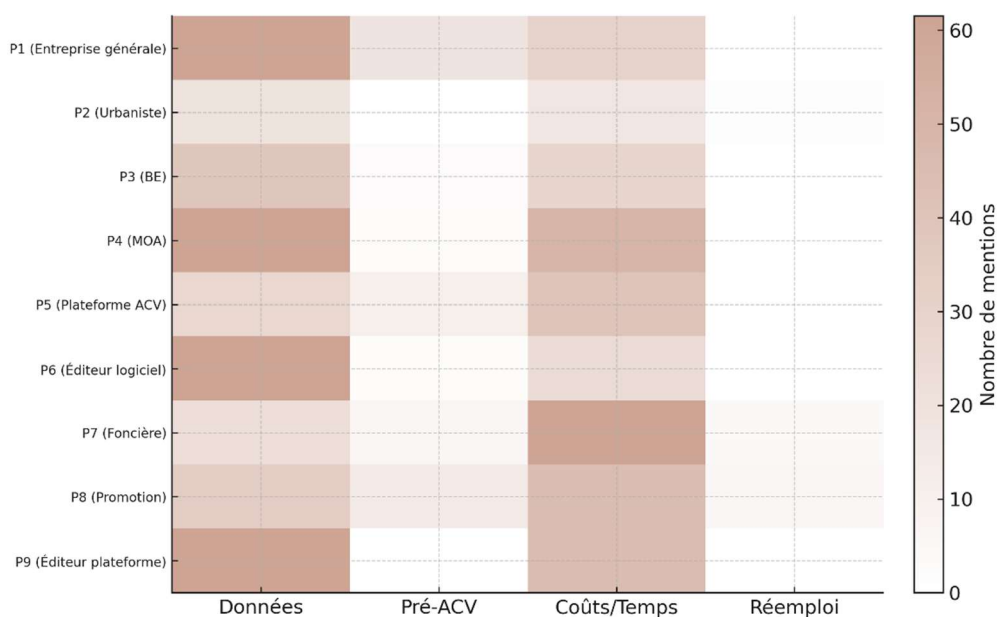


Figure 63. QJ : Heatmap métiers × thèmes (données, pré-ACV, coûts/temps, réemploi).

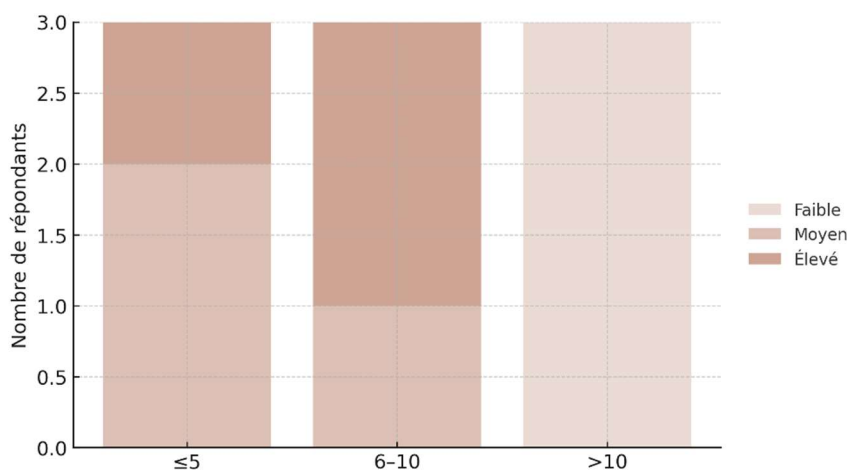


Figure 64. QB : Ancienneté (≤5 / 6-10 / >10 ans) × niveau de connaissance (faible / moyen / élevé).

4.2.5 Conclusions entretiens

Les entretiens convergent vers un diagnostic partagé : l'ACV est perçue comme un appui pertinent à la décision, mais sa mise en œuvre reste hétérogène selon les métiers et les structures. Les

déclencheurs principaux sont réglementaires et marchés (appels d'offres, exigences MOA), plus que l'initiative spontanée. Les freins les plus cités portent sur (i) les ressources (temps amont non prévu, charge de saisie, besoin de formation), (ii) la donnée (qualité, traçabilité, appariement BIM-quantitatifs-FDES/EPD), (iii) l'interopérabilité des outils, et (iv) la lisibilité des responsabilités (qui fait quoi, quand, avec quels livrables). Les leviers identifiés sont la pré-ACV systématique en amont, la standardisation de règles d'appariement et de contrôle qualité, l'instauration de jalons carbone dans le cycle projet, et la désignation d'un référent ACV appuyé par les métiers (économie, conception, achat). Du point de vue organisationnel, un modèle hybride s'impose : internalisation des activités à forte valeur pour la décision (pré-ACV, scénarios, coordination des données et échanges) et recours à des bureaux spécialisés pour la conformité réglementaire et les pics de charge. Les bureaux d'études thermiques évoluent vers des compétences ACV, jouant un rôle de passerelle entre énergie et carbone. Lorsqu'une telle organisation est en place, les équipes rapportent une clarification des arbitrages, une réduction d'itérations et une amélioration du dialogue avec la MOA et les industriels ; toutefois, la mesure objectivée de ces gains (temps, coûts, non-qualité) reste encore peu formalisée. Les entretiens plaident pour la mise en place d'inventaire pour l'ACV, de check-lists et de gabarits de pré-ACV, ainsi que pour un plan de formation ciblé, afin d'inscrire l'ACV dans un pilotage régulier plutôt que ponctuel.

<i>Challenges / drivers / obstacles</i>	Freins récurrents : disponibilité/charge ; compétences ; données et appariements ; interopérabilité ; responsabilités peu explicites. Drivers : cadre réglementaire ; attentes des clients ; gains perçus en qualité de décision.
<i>Prise en charge & ressources</i>	Organisation variée selon structures ; besoin d'un référent ACV, d'un appui métiers (économiste, BIM, achat), de jalons et de livrables types ; procédures de contrôle qualité.
<i>Innovation / prise de conscience</i>	Clarification des rôles, standardisation des flux, comités/jalons carbone ; montée en compétence qui transforme les pratiques de conception et d'achat.
<i>Intégration interne/externe</i>	Préférence pour un modèle hybride : décision et coordination en interne ; conformité et pics de charge confiés à des BE spécialisés ; BE thermiques jouant le rôle de passerelle énergie-carbone.

Tableau 22. Réponses sous-questions à partir des entretiens

4.3 Le cas d'étude

L'étude s'attache également à analyser l'évolution de la place accordée à l'ACV au fil des projets : quelles équipes sont impliquées, à quel moment l'ACV est-elle mobilisée, selon quelles logiques et avec quels impacts sur les décisions prises. Enfin, cette étude s'appuie sur l'usage concret d'une plateforme d'évaluation ACV en ligne, outil d'ACV simplifiée utilisé par l'entreprise dans le cadre de la RE2020. L'analyse des pratiques autour de cet outil permet d'observer comment les données environnementales sont structurées, circulent, et les principaux obstacles.

4.3.1 Présentation du cas d'étude

L'entreprise étudiée, ci-après « l'Entreprise », demeure volontairement anonyme. Il s'agit d'un groupe familial devenu indépendant, positionné sur la promotion résidentielle et tertiaire, l'investissement et la gestion d'actifs, ainsi que sur l'immobilier géré. Acteur majeur du marché national des parcs d'activités, l'Entreprise conçoit et réalise des parcs d'activités, des bâtiments industriels et des immeubles de bureaux. Historiquement implantée en Île-de-France, elle a étendu ses opérations à plusieurs grandes métropoles régionales. L'enquête s'est déroulée au plus près de la maîtrise d'œuvre (MOE), « bras droit » de la maîtrise d'ouvrage (MOA) au sein du même groupe. Depuis près de trois décennies, cette entité accompagne les métiers internes de la phase de conception à la livraison, sur des opérations d'immobilier résidentiel, tertiaire et géré.

Le cœur d'activité analysé ici porte sur le bâtiment tertiaire et, plus spécifiquement, sur les bâtiments logistiques. Ces derniers présentent une identité architecturale et constructive marquée, fondée sur des modes opératoires éprouvés qui, tout en s'adaptant progressivement, assurent des coûts compétitifs, une qualité perçue constante et une reconnaissance de la « signature » de l'Entreprise. Deux configurations de production coexistent : (i) des bâtiments « clé en main », conçus et détaillés pour répondre à un cahier des charges exigeant ; (ii) des bâtiments intégrés à des parcs immobiliers, livrés en configuration plus générique afin de permettre une adaptabilité.

Avant l'introduction d'exigences environnementales accrues, l'Entreprise bénéficiait d'un système interne cohérent, orienté vers l'optimisation économique et la reproductibilité technique. Ce système, performant au regard des cadres réglementaires antérieurs, capitalisait efficacement le savoir-faire accumulé. L'évolution récente du contexte — notamment la généralisation des analyses de cycle de vie (ACV) dans l'évaluation des projets et la nécessité de documenter précisément les impacts — a toutefois mis en lumière de nouveaux besoins : traçabilité fine des quantitatifs, précision documentaire (fiches, références techniques), maîtrise des procédés constructifs au niveau de détail requis par l'ACV. La production de preuves et de données normalisées ne peut plus être cantonnée à une évaluation en fin de projet ; elle doit irriguer les étapes amont, révélant au passage des « angles morts » dans des méthodes jusque-là considérées comme parfaitement maîtrisées. Parallèlement, un changement majeur de gouvernance est venu reconfigurer l'organisation. Le passage d'une direction familiale à une nouvelle direction a resserré les objectifs de performance (profitabilité, volumes, efficacité opérationnelle) et accéléré la rationalisation des processus : optimisation des circuits d'information, modernisation des outils, standardisation des pratiques, recrutement de profils dédiés à la transformation. Cela s'inscrit dans un contexte de tensions sur le marché immobilier, qui a incité le groupe à interroger l'efficacité de son fonctionnement interne et à expérimenter une nouvelle organisation plus data-driven.

Le suivi longitudinal réalisé dans ce mémoire a couvert quatre années, articulées autour de trois immersions successives au sein de l'Entreprise, centrées sur la circularité et l'ACV. La première intervention a consisté à cartographier les enjeux émergents (circularité, labels environnementaux, évolution réglementaire) et à sensibiliser les équipes. La deuxième a visé le choix d'une méthode d'ACV et d'un environnement outillé (plateforme non nommée ici pour respecter l'anonymat), ainsi que l'alignement du périmètre de données. La troisième, qui constitue le cœur du présent cas d'étude, a porté sur la réalisation opérationnelle d'ACV de projets, la formalisation d'un processus de faisabilité reproductible et le transfert de compétences pour assurer la continuité après le départ de l'intervenante. Au total, 25 ACV ont été conduites, permettant de roder les outils, d'identifier les alertes récurrentes (données manquantes, incohérences de quantitatifs, granularité insuffisante des références) et de consolider des parades (gabarits, check-lists, protocoles de demande de données, circuits de validation).

Sur le plan réglementaire, la période étudiée correspond à la transition entre l'ancien cadre (type RT2012) et l'essor de la RE2020 en France, période durant laquelle l'ensemble de la filière construction a dû reconfigurer ses pratiques pour intégrer des métriques d'impact environnemental au cœur des décisions. Dans le segment logistique observé, au moment de l'étude, seules certaines composantes, notamment les surfaces de bureaux intégrées à des opérations logistiques, étaient explicitement soumises aux exigences ACV, générant un traitement partiel des opérations (ex. : une opération de 2 000 m² dont seulement 200 m² relevant

du volet « bureaux » sont comptabilisés). Cette situation, favorable à court terme d'un point de vue opérationnel, interroge néanmoins la représentativité globale de l'empreinte environnementale de tels ensembles et souligne l'intérêt d'une montée en couverture des périmètres. Donc ce cas d'étude documente l'intégration progressive de l'ACV dans une organisation déjà fortement structurée et industrialisée. Il met en évidence : (i) la nécessité d'articuler exigences de conformité et appui à la conception dès l'amont ; (ii) l'importance d'une gouvernance des données pour fiabiliser les résultats ; (iii) l'effet d'un changement de direction qui, en re-priorisant l'efficacité et la standardisation, crée à la fois des opportunités de déploiement rapide et des tensions d'apprentissage ; (iv) l'apport d'une démarche incrémentale qui, par itérations outillées et retours d'expérience cumulés, installe des routines transverses (MOA–MOE) compatibles avec les exigences ACV. L'ensemble fournit un terrain d'observation privilégié des défis associés à l'ACV appliquée aux bâtiments logistiques, ainsi que des leviers concrets pour son appropriation à l'échelle de l'entreprise.

4.3.2 La frise chronologique

Avant toute chose, il convient de dérouler le processus d'intégration de l'ACV au sein de l'entreprise. En apparence linéaire, ce processus ne l'est pas. Il a fallu près de cinq ans, l'implication de quatre personnes et une forte motivation pour aboutir aujourd'hui à une solution interne optimisée permettant de réaliser les ACV. Nous adoptons ici une focale résolument « entreprise », centrée sur le management, la gestion des processus et la définition des rôles. Afin de comprendre le fonctionnement du service dans lequel j'étais intégrée et son positionnement par rapport aux autres, un bref organigramme est présenté ci-après.

Le service « synthèse », avec lequel j'étais en lien direct, occupe un rôle central. Il recueille les demandes de la maîtrise d'ouvrage, ainsi que les critères techniques et esthétiques, puis les synthétise et les formalise dans les dossiers de consultation. En parallèle, il agrège les livrables des différents bureaux d'études (thermique, structure) et du bureau de dessin externe, chargé de transformer les premières esquisses (plans, maquettes) en documents rendus conformes. Le service analyse l'ensemble de ces informations, vérifie leur cohérence et valide leur compatibilité ; à défaut, il émet des retours et procède aux arbitrages nécessaires. Il communique en outre aux services Études de prix et Achats les besoins et les quantitatifs, analyse les devis et arrête, en concertation avec la synthèse et avec la maîtrise d'ouvrage qui valide les budgets, les choix finaux. Dans ce contexte, il apparaissait naturel de rattacher l'ACV à ce service : elle complète les autres études et constitue un nouveau critère de validation des choix.

La frise met en évidence un déploiement sur près de cinq ans, passant de l'exploration à l'outillage, puis à l'industrialisation et à la restructuration. Quatre personnes clés portent la démarche, en interface avec la MOA, la MOE, les bureaux d'études, les achats et la conception. Plusieurs organisations ont été testées (externalisation, internalisation outillée, essai BIM, méthode par ratios) avant stabilisation. Le pivot 2024–2025 conduit vers un modèle hybride : pré-ACV amont en interne, puis ACV complète via partenaire pour la conformité RE2020. Ce parcours révèle les temps incompressibles de collecte/qualité des données et l'importance d'une gouvernance claire des rôles et des flux. Nous orientons désormais la démarche vers une approche plus amont de la conception. Étant donné que deux ACV sont demandées dans la RE2020, ce positionnement apparaît logique : une fois les premiers choix arrêtés par la maîtrise d'ouvrage et ses architectes, l'ACV se trouve rapidement contrainte, et les leviers d'optimisation deviennent restreints. En conséquence, une pré-ACV serait réalisée en amont à l'aide d'un outil interne. Puis, en phase de synthèse, une ACV complète et approfondie viendrait vérifier la conformité aux seuils de la RE2020.

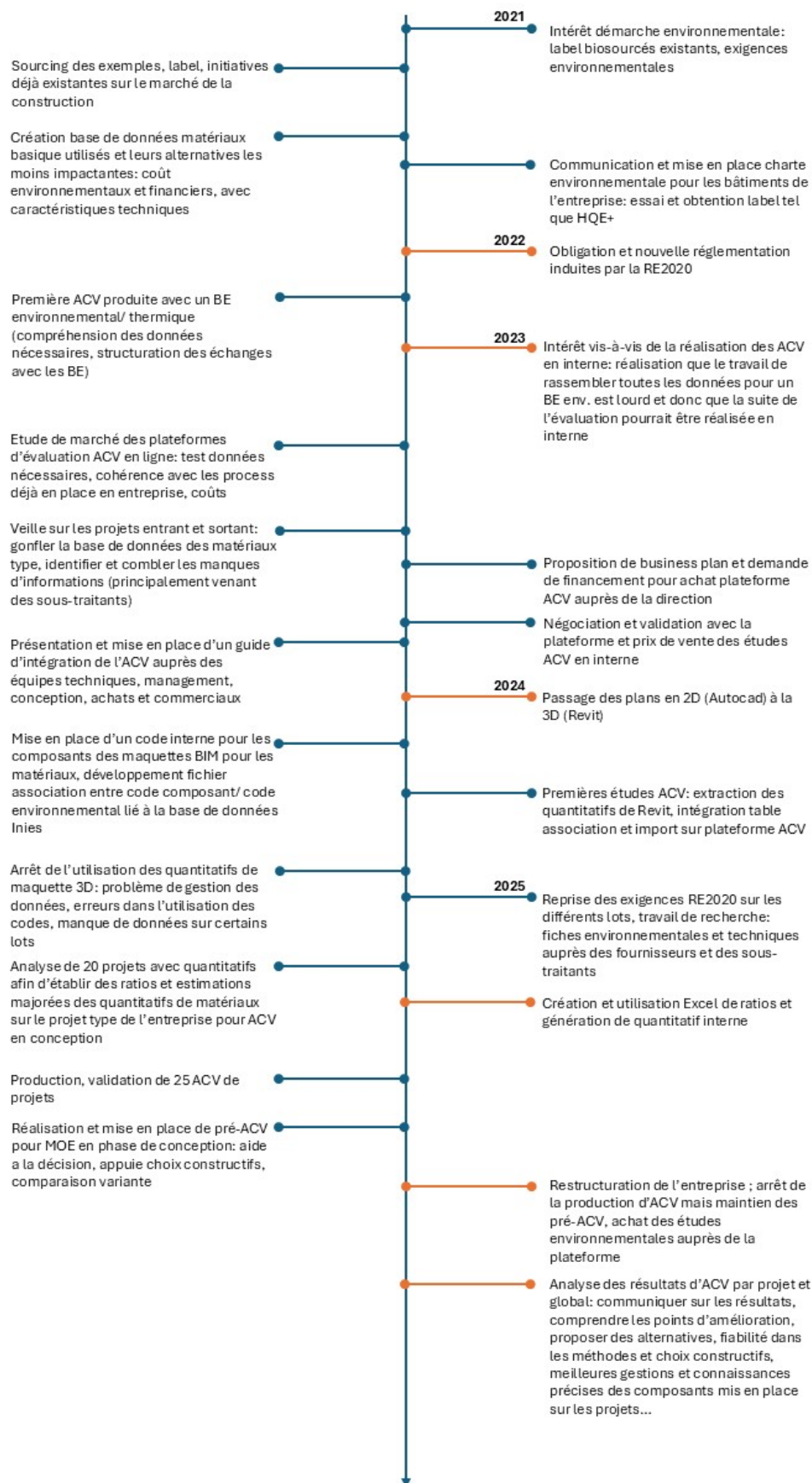


Figure 65. Frise chronologique de 2021 à 2025, de la mise en place de la démarche environnementale dans l'étude de cas

Résultats

L'intégration de l'ACV est tirée d'abord par la RE2020 (exigence de 2 ACV), mais aussi par des évolutions organisationnelles (administration, gouvernance) et un cap stratégique clair : souveraineté, montée en expertise multisectorielle et développement d'offres à forte valeur (qualité, expertise, garantie).

Le déroulé peut résumer en 4 phases :

Phase 0 <i>Socle méthodologique (avant l'entrée). Stage de 6 mois en bureau d'étude adossé à un groupe de recherche "ville du futur" : assistance sur intégration conjointe LCA-LCC, circularité bâtiment/ville et rôle du BIM pour la donnée massive. Résultat : bases ACV, champs d'application et limites.</i>	
Phase 1	Dans le contexte RE2020 et labels (HQE, BREEAM, LEED), benchmark des offres pour concevoir un label interne (tertiaire). Construction d'une base interne (systèmes/matériaux) adossée à INIES/FDES, partagée avec projets et Achats pour comparer critères environnementaux et économiques. Veille continue (prix, références) enrichie d'un paramètre carbone pour suivi/négociation.
Phase 2	Choix d'un outil ACV. Après externalisation initiale, constat que la collecte reste interne → étude comparative (critères techniques, UX, analyse, coût, support, temps, formats). Business plan, validation budgétaire, conditions de vente à la MOA, sélection de l'outil. Mise en œuvre : standardisation doc, réflexion maquette 3D, gabarits et circuit de données.
Phase 3	Production & apprentissages. Réalisation d'un volume significatif d'ACV pour mettre au jour problèmes récurrents, leviers d'adaptation et effets sur interfaces entre acteurs ; validation/ajustement (outil, process, référentiels) et positionnement de l'Entreprise sur ses impacts environnementaux.

Tableau 23. Phase étude de cas

4.3.3 Le cheminement d'intégration de l'ACV

D'abord motivée par l'obligation réglementaire, l'Entreprise a ensuite fait le choix stratégique d'approfondir l'ACV pour accroître sa maîtrise interne des données. L'objectif : mieux contrôler la quantité et la qualité des dossiers, et assurer un suivi continu d'un projet à l'autre comme au sein d'un même projet. La standardisation des données rend les analyses répliquables et comparables en interne. Au-delà de l'évaluation projet par projet, cette structuration permet un benchmark transversal de l'ensemble du portefeuille. On identifie ainsi les projets à forte ou faible performance environnementale et les postes d'impact récurrents. Les améliorations testées sur une typologie peuvent alors être déployées rapidement sur les opérations suivantes.

4.3.3.1 Les motivations de son intégration

La réglementation

L'entrée en vigueur de la RE2020 a fixé des indicateurs environnementaux et des valeurs maximales de conformité (Bbio/Bbiomax, Cep/Cepmax, Cep,nr/Cep,nrmax, Icénergie/Icénergie_max, Icconstruktion/Icconstruktion_max, DH/DHmax). Maîtriser ces indicateurs suppose de connaître précisément ce que l'on consomme et met en œuvre sur les bâtiments. Autrement dit : l'ACV est obligatoire, et des outils efficaces ainsi que des données structurées sont disponibles.

Accessibilité des outils

Sous l'impulsion de la RE2020, des plateformes en ligne (souvent proposées par des startups) permettent de réaliser soi-même les ACV via des interfaces ergonomiques : association des quantités aux données environnementales des produits sélectionnés, traçabilité des entrées, et

sorties normalisées conformes aux attendus (rapport RE2020, fichiers XML). Ces outils facilitent à la fois la conformité et la communication sur les performances environnementales des projets.

Gestion des données

Une grande partie du travail (collecter, formater et organiser quantitatifs et références produites était déjà réalisée en interne pour alimenter les bureaux d'études. D'où la logique de prendre en charge la dernière étape (modélisation ACV), moins chronophage une fois les données prêtes, et d'instaurer une gouvernance interne : formats homogènes, exigences renforcées auprès des fournisseurs/sous-traitants (FDES ou, à défaut, DED/collectives), traçabilité et veille. Cette montée d'exigence a fait émerger des variables auparavant sous-documentées (ex. peintures), parfois décisives pour passer les seuils. Elle a aussi conduit à affiner les postes d'impact (ex. décomposition du poids de charpente par composants), à outiller les arbitrages (techniques/achats) et à conserver en interne une vision portefeuille de l'ensemble des projets.

Limites

L'accès aux données reste problématique : fournisseurs et sous-traitants ne transmettent pas toujours l'ensemble des informations, et la multiplicité des acteurs complexifie la coordination et le management. Les périmètres d'étude varient d'un projet à l'autre ; lorsqu'on ne prend pas exactement les mêmes éléments en compte, la comparabilité inter-projets devient fragile. La précision requise, notamment pour les lots techniques, impose de solliciter des professionnels pour fournir des quantités exactes à chaque opération ; cela augmente la charge de travail sans bénéfice direct perçu par les équipes concernées. Des freins humains apparaissent : habitudes anciennes, manque de connaissance ou impression d'une compétence trop lourde à acquérir, scepticisme (accusations de « greenwashing », sentiment que « ça ne sert à rien » ou que d'autres critères techniques/financiers priment), et l'idée que des efforts déjà consentis (basse conso, énergies renouvelables) suffiraient alors que le carbone est « peu visible ». Les réactions observées pendant le stage sont mitigées : de l'intérêt de principe à la remise en cause de l'utilité de l'ACV par rapport aux critères techniques ou économiques. Dans un univers où la raison première demeure la rentabilité, l'ACV est perçue comme un investissement initial (coûts humains et financiers). Pourtant, elle est rentabilisée par la suite et, parce qu'elle est multicritère, pourrait s'étendre à de nombreux volets ; mais les entreprises la considèrent souvent comme un critère de plus à cocher, plutôt que comme un levier d'innovation et d'organisation.

Nouvelle corde à son arc et argument de vente

Internaliser l'ACV devient un différenciateur : capacité à produire et piloter l'évaluation, à optimiser les choix en parallèle de la conception, à démontrer des performances (voire à viser au-delà des seuils). Pour une MOE intégrée à une MOA, c'est un signe de maîtrise (données, interfaces, impacts) qui renforce la proposition de valeur, distingue des concurrents moins outillés et constitue un argument commercial autant qu'un levier d'amélioration continue.

4.3.3.2 Etat des lieux des ressources : humaine, financières, matérielle

L'implantation de l'ACV dans l'entreprise a d'abord reposé sur un noyau humain clairement identifié. Il a fallu, dès le départ, une personne entièrement dédiée au développement et au suivi opérationnel de la démarche (en l'occurrence : une étudiante ingénieure-architecte) et un sponsor décisionnaire capable de cadrer et d'appuyer l'organisation cible (le directeur du pôle Achats & Synthèse, de formation économiste de la construction). Ce binôme a assuré, d'un côté, la continuité du travail quotidien (collecte et structuration des données, préparation des pièces), et de l'autre, les arbitrages, l'allocation des moyens et l'inscription de l'ACV dans la trajectoire

globale de l'entreprise. Une troisième actrice, architecte responsable de la Synthèse, est intervenue pour installer un dialogue de conception avec les bureaux d'études et valider que les exigences évoluaient effectivement dans les livrables attendus. Sur le plan financier, il a été rappelé que le temps est un coût : toutes les personnes impliquées, de près ou de loin, consacrent des heures à la démarche. L'achat d'une plateforme ACV a donc été considéré comme un investissement devant figurer au business plan, avec un modèle d'accès adapté au contexte. Trois modèles d'accès sont usuels :

- **Licence nominative** : une licence par utilisateur (dégressive à volume), adaptée à un référent ACV produisant régulièrement.
- **Licence « siège flottant »** : plus onéreuse mais partageable entre utilisateurs non simultanés, pertinente lorsque l'ACV est une tâche secondaire répartie.
- **Forfaits au nombre de projets** : tarification indexée sur le volume d'études prévu.

Les offres incluent généralement support par tickets (très sollicité au démarrage), formations et accompagnement d'intégration des processus, éléments déterminants pour réduire les frictions initiales et fiabiliser les premiers résultats.

L'entreprise disposait déjà d'un **socle opérationnel** facilitant l'appropriation : une personne ayant pratiqué l'ACV dans une autre structure, des architectes et économistes de la construction habitués à travailler ensemble (garantissant la qualité des quantitatifs), des devis issus des entreprises consultées, un fichier de matériaux incluant des alternatives « vertes » (mini-base de données), ainsi qu'un accès à des plans de qualité produits par un bureau de dessin externe. Cette base a permis de démarrer sans repartir de zéro et d'organiser rapidement les premiers jeux de données. Le **passage à une production interne** des ACV a entraîné des évolutions matérielles et informationnelles. Les plans 2D AutoCAD ont été migrés vers des modèles 3D Revit afin de mieux structurer les quantités et les objets constructifs. Une bibliothèque a été constituée, associant références environnementales et codes Revit par matériau ou composant, et complétée par une table d'association reliant ces codes aux références de la base INIES. Parallèlement, un outil de calcul des quantitatifs a été mis en place pour faire le lien entre les données projet (par exemple : surfaces de bardage, de plancher, d'ouvrants, paramètres de charpente) et les données environnementales correspondantes. De manière à produire les quantités obligatoires à partir de données référence et conformes au périmètre retenu pour une ACV valide. Enfin, **l'accompagnement proposé par les éditeurs** d'outils a été mobilisé de façon ciblée : rencontres avec les concepteurs (plans/maquettes) et les économistes de la construction (DPGF), états des lieux des documents existants, puis recommandations d'organisation pour optimiser simultanément les coûts, les charges humaines, les délais et l'usage des ressources.

4.3.3.3 *Fiche descriptive : intégration en externe*

Les personnes impliquées

Dans un schéma d'externalisation de l'ACV, l'étude est confiée à un bureau d'études environnementales, très souvent un bureau thermique re-spécialisé qui étend son offre vers l'ACV bâtiment. Ce choix s'explique par une proximité de compétences : ces structures manipulent déjà des données quantitatives, les associent à des facteurs d'impact et disposent d'une culture de l'évaluation des performances. Côté entreprise, un interlocuteur « référent ACV » est nommé : il ne produit pas l'ACV mais vérifie, centralise et transmet les informations nécessaires. En face, le bureau d'études désigne son propre référent, responsable de la modélisation et de l'analyse. La

fluidité du processus dépend largement d'une règle simple : limiter le nombre d'interlocuteurs pour éviter les ruptures d'information et accélérer les arbitrages. Les bureaux thermiques jouent un rôle car ils fournissent un document, le RTherm, qui permet de préremplir les études ACV, qui est obligatoire et qui respecte la réglementation ACV. Enfin, le dernier acteur est le bureau de contrôle, chargé de valider l'ACV à deux étapes (phase initiale : lors du dossier de demande de permis de construire (ou d'autorisation équivalente) vérifiant la conformité prévisionnelle du projet aux exigences réglementaires ; phase finale : dépôt d'une ACV mise à jour en fin de chantier (après travaux), reflétant les données réelles du bâtiment et les matériaux effectivement mis en œuvre).

Personnes

- Bureau d'études environnementales (souvent bureau thermique re-spécialisé) avec un **réfèrent ACV** producteur.
- Entreprise avec un **réfèrent ACV interne** (centralisation, vérification, transmission des données).
- Bureau d'étude thermique fourni le RTherm
- Bureau de contrôle
- **Principe** : limiter les interlocuteurs pour fluidifier le flux d'informations.

Les outils/ ressources

Les « outils » mobilisés sont essentiellement documentaires et fournis par l'entreprise qui commande l'étude environnementale. Dans la configuration la plus robuste, l'entreprise fournit une DPGF établi par les économistes de la construction, qui détaille précisément les quantités. À défaut, le bureau s'appuie sur un DCE transmis par les architectes ; les entreprises répondantes produisent alors des devis qui servent de base aux quantifications. Qu'il s'agisse d'une DPGF ou d'un jeu de devis, la matière première comprend les spécifications de matériaux et, idéalement, les références exactes des fiches environnementales/techniques (jusqu'au numéro), afin d'éviter les erreurs d'affectation. Le rapport thermique (RTherm) fourni par le bureau d'étude thermique est obligatoire et permet de préremplir l'ACV conformément et les sections de consommation énergétique. Les objectifs de performance sont clarifiés en amont (respect du seuil réglementaire ou ambition de le dépasser), ce qui cadre le niveau d'exigence et la nature des ajustements possibles. L'entreprise doit donc effectuer un travail de fond pour rassembler le plus d'information et aussi suivre un type d'organisation des données pour le bureau d'étude la plupart du temps (fichier type). Le bureau quant à lui a besoin d'un logiciel de calcul et de temps pour venir chercher les informations manquantes.

Ressources

- **DPGF** (quantitatifs détaillés) ou, à défaut, **DCE + devis entrepris**.
- **Fiches environnementales/techniques** avec références exactes (idéalement n° de fiche).
- **Objectifs de performance** clarifiés en amont (seuil réglementaire / dépassement).
- **Rtherm** (rapport thermique)

Les interactions entre le bureau d'étude et l'entreprise

Les interactions prennent la forme d'allers-retours, surtout en début de projet : le bureau liste ses besoins, signale les manques, demande des compléments ; l'entreprise doit comprendre les écarts, identifier les bons détenteurs d'information et remettre des pièces corrigées. Cette mécanique impose coordination et réactivité.

Interactions

- **Allers-retours** fréquents, surtout au démarrage (listes de besoins, manques, compléments).
- **Retours du bureau** : validation/invalidation, parfois **1-2 options** d'ajustement, peu d'appui « conception ».

Les limites

Elle révèle plusieurs limites qui affectent l'entreprise : charge de collecte importante, difficulté initiale à cerner exactement le niveau de détail attendu, itérations fréquentes, et cas où le projet ne « passe » pas, entraînant des cycles supplémentaires. On assiste aussi à une perte de la maîtrise des données en interne, car on les donne de manière décousue et on ne fait pas le travail de forme. Dans cette configuration, l'apport « conception » reste limité : le bureau rend généralement un verdict (conforme / non conforme), parfois assorti d'une ou deux options, mais sans accompagnement itératif poussé.

Limites

- **Charge de collecte** et de consolidation des données côté entreprise.
- **Difficulté** à anticiper le **niveau de détail** attendu → itérations nombreuses.
- **Risque** que le projet ne « passe » pas → cycles supplémentaires, délais.

Les avantages

En miroir, l'externalisation offre des avantages nets quand les ressources humaines internes sont contraintes : une fois le dossier stabilisé, les processus du bureau d'études sont largement automatisés, ce qui sécurise la production des résultats sans exiger de montée en compétence immédiate des équipes de l'entreprise. L'expert externe sait expliciter ses besoins, détecter les trous documentaires et guider la complétude, ce qui génère un gain de temps côté calcul et conformité, à condition que l'entreprise tienne la qualité et la cadence de transmission des données.

Avantages

- **Pertinent** quand les **ressources internes** sont limitées.
- **Processus automatisés** côté bureau une fois le dossier complet → **gain de temps**.
- **Pas de formation immédiate** nécessaire ; l'expert externe **cadre les besoins et repère les manques**.

4.3.3.4 Fiche descriptive : intégration en interne

Dans le cas étudié, plusieurs tentatives d'intégration en interne de la production d'ACV ont été menées avec des procédés organisationnels variés ; la présente fiche en tire les enseignements généraux, en se concentrant sur ce que cela requiert et implique au quotidien.

Les personnes

Deux organisations se sont succédé. D'abord, une personne unique produisait les ACV pour l'ensemble des projets. Désormais, l'option retenue est « une personne par projet », le plus souvent un architecte chargé de rassembler les quantitatifs, d'alimenter l'outil interne de génération des quantités propres à l'ACV, de modéliser puis d'analyser les résultats. Cette organisation suppose un soutien explicite de la direction, qui joue un rôle de « moteur » : elle couvre et porte la démarche, cadre les priorités et oriente les équipes. En appui, le service d'assistance de la plateforme ACV (contact dédié côté éditeur) répond aux questions et traite les points techniques. Enfin, la thermique réglementaire reste un acteur clé : le rapport thermique (calé sur la plateforme et sur la réglementation en vigueur) alimente une part substantielle des

données nécessaires à l'ACV. Enfin, le bureau de contrôle valide les deux ACV : l'ACV initiale et l'ACV finale.

Ressources

- Passage d'un **réfèrent unique** à un **réfèrent par projet**
- Rôle central des **architectes** (quantitatifs, modélisation, analyse)
- **Sponsoring direction** pour impulser et maintenir la démarche
- **Assistance éditeur** (point de contact, support technique)
- **Bureau thermique** : fourniture du rapport thermique exploitable en ACV
- **Bureau de contrôle**

Les outils

Tout reste en interne : les fichiers qui documentent les quantitatifs des matériaux ; les tables d'association qui relient les codes Revit aux références environnementales (base nationale) ; les fiches techniques et, en l'absence de DPGF, les devis des sous-traitants/fournisseurs, qui explicitent produits et quantités. Une plateforme ACV en ligne est utilisée pour intégrer ces données, produire un rapport et un fichier XML transmis au bureau de contrôle. Au-delà du logiciel, la réussite dépend d'une compétence interne de lecture des données : savoir où les trouver, comment sont structurés les documents, comment les interpréter. Concrètement, il faut une organisation documentaire robuste (arborescences, nommages, versions) qui rende les recherches rapides et fiables.

Outils

- **Quantitatifs**, fiches techniques, **devis** conservés en interne
- **Tables d'association** Revit ↔ données environnementales (base nationale)
- **Plateforme ACV** : saisie, calcul, rapport et XML de conformité
- Compétences internes en **lecture/interprétation** de données
- **Organisation documentaire** formalisée (répertoires, nommages, versions)

Les interactions

Les interactions sont moins nombreuses qu'en externalisation, car elles se concentrent sur l'interne et sur la relation directe avec fournisseurs et sous-traitants pour compléter les devis quand une information manque (ex. référence exacte d'une peinture). Certaines exigences de granularité nécessitent des échanges ciblés : la charpente, par exemple, doit être fournie en kilogrammes par élément ; cela suppose une coordination avec le bureau d'études structure et le fabricant. En interne, l'intervenant ACV travaille étroitement avec les Achats (qui sollicitent au besoin un DCE) et avec la Synthèse (compréhension du projet et des choix constructifs). Les interactions avec la plateforme portent surtout sur des incidents d'import ou des messages d'erreur ; avec la thermique, il s'agit d'aligner le rapport thermique pour éviter des incohérences ; avec le bureau de contrôle, l'envoi du XML mène généralement à une validation lorsque la modélisation est conforme.

Interactions

- Échanges directs avec **fournisseurs/sous-traitants** (compléments de devis)
- **Granularité** demandée : ex. charpente en kg/élément (coordination structure)
- **Coordination interne** avec Achats (DCE) et Synthèse (cohérence projet)
- **Support plateforme** pour anomalies d'import/erreurs
- **Alignement** avec thermique ; validation via bureau de contrôle (XML)

Les limites

L'intégration interne est chronophage au démarrage : mise en place des outils, collecte et mise en qualité des données, montée en compétence des équipes. Dans un contexte de capacité humaine réduite, la charge additionnelle doit être finement répartie. La formation est indispensable pour lever l'effet « boîte noire » (comprendre ce qui est attendu, où trouver la donnée, à quel niveau de détail). Enfin, l'automatisation des flux (extractions, correspondances, contrôles) représente un chantier conséquent, mais nécessaire pour la pérennité. Dans l'étude de cas, une part significative des ACV n'atteignait pas les objectifs dès la première itération. Des ajustements successifs ont été nécessaires, en ciblant soit les postes les plus impactant, soit les éléments insuffisamment documentés. Dans certaines situations, et lorsque le cadre de la RE2020 l'autorisait, des quantitatifs détaillés ont été remplacés par des lots forfaitaires. Cette substitution, souvent plus avantageuse en termes d'empreinte carbone, a permis d'améliorer les résultats et de franchir certains seuils. Elle introduit toutefois une tension entre conformité réglementaire, optimisation des indicateurs et fidélité aux quantités réellement mises en œuvre, ce qui constitue une limite de l'étude et appelle une explicitation systématique de ces choix ainsi qu'une analyse de sensibilité.

Limites

- **Temps initial** important (outillage, données, acculturation)
- **Ressources humaines** contraintes → charge à répartir
- Besoin de **formation** pour lever l'effet « boîte noire »
- **Automatisation** des flux à construire (contrôles, correspondances)
- **Itérations nécessaires** pour passer les seuils et utilisations de lots forfaitaires dans ce but

Les avantages

L'internalisation donne une maîtrise directe des données : meilleure traçabilité, rigueur accrue des informations exigées auprès des sous-traitants, repérage des angles morts (ex. postes jusqu'ici peu documentés) et correction des faiblesses. Elle professionnalise les équipes (nouvelles compétences, rôles clarifiés), renforce l'argumentaire commercial (« nous concevons et évaluons en interne ») et différencie sur le marché. Surtout, une fois les processus stabilisés, la production devient plus rapide, fiable et rentable : l'entreprise capte la valeur, satisfait aux obligations et dispose d'un levier opérationnel pour orienter les choix de conception au plus près des réalités du projet.

Avantages

- **Maîtrise et traçabilité** renforcées des données
- Mise à niveau des **exigences** envers sous-traitants/fournisseurs
- **Montée en compétences** des équipes ; rôles clarifiés
- **Différenciation** et **argument commercial** crédible
- **Processus fiabilisés** → gains de temps et rentabilité
- **Levier** pour orienter la conception et améliorer la conformité

4.3.4 Tableau descriptif processus spécifique, type intégration ACV

4.3.4.1 Proposition 1 : quantitatif devis

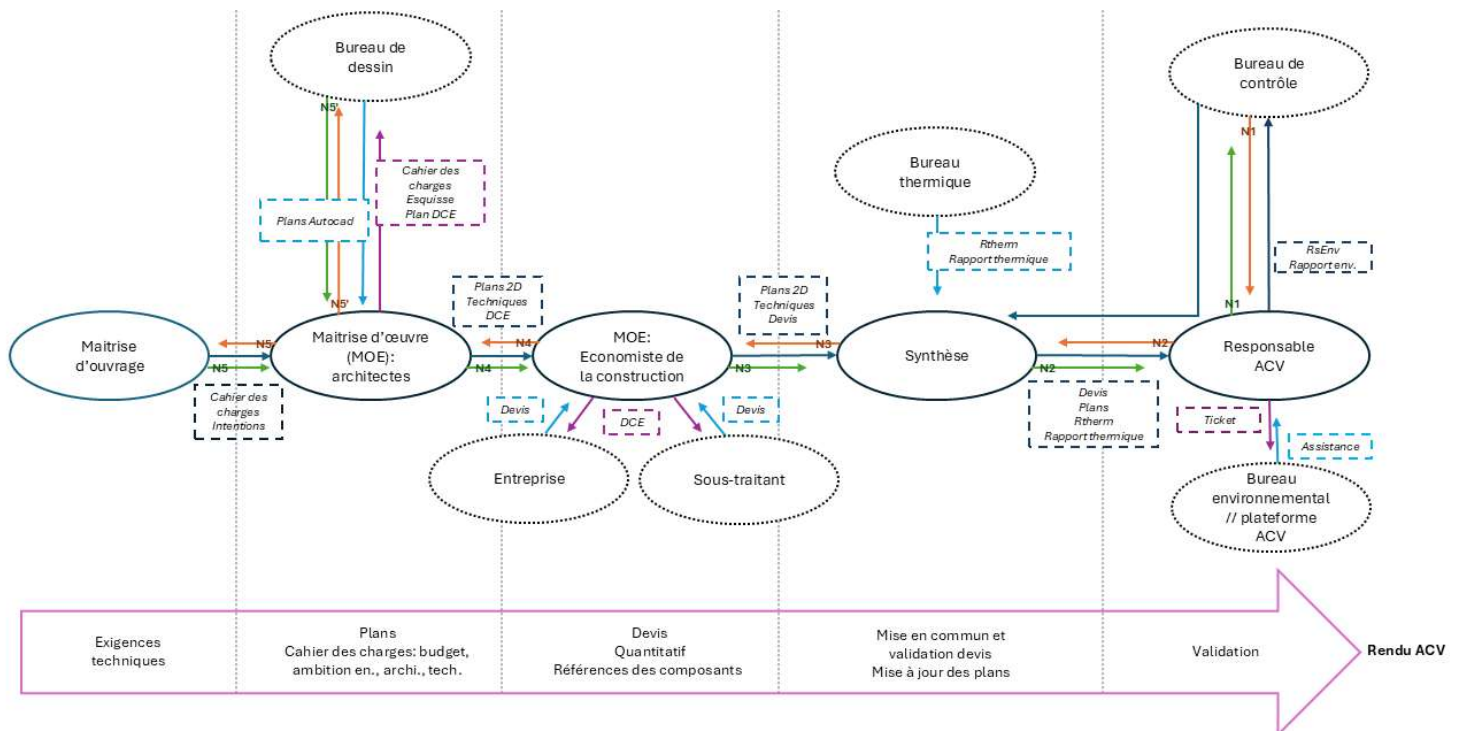


Figure 66. Schéma descriptif processus entreprise : quantitatifs devis

Ce processus s'appuie prioritairement sur les quantitatifs présents dans les devis. La séquence est la suivante : la maîtrise d'ouvrage (MOA) émet une demande et la transmet à la maîtrise d'œuvre (MOE), qui conçoit puis fait mettre au net la production par le bureau de dessin. La MOE, côté économie de la construction et via le pôle Achats, consulte entreprises et sous-traitants pour obtenir les devis. Le bureau thermique fournit ensuite le rapport thermique utilisé par l'ACV. Enfin, le référent ACV agrège et extrait des devis et des plans les données nécessaires, réalise l'ACV, puis soumet le dossier au bureau de contrôle.

Le schéma comporte quatre niveaux successifs de contrôle/retour, en partant de l'aval pour remonter si besoin :

- V1. Vérification de conformité ACV (résultats vs seuils ; cohérence globale) ;
- V2. Si échec, recoupement interne des entrées (devis/plans/rapport thermique) et correction ;
- V3. Si besoin, révisions techniques (Synthèse, BE structure/thermique) ;
- V4. En dernier ressort, retours fournisseurs/sous-traitants pour compléter ou rectifier les devis/FDES.

Si V1 est satisfaisant, le cycle s'arrête ; sinon on remonte V2 → V3 → V4 jusqu'à correction.

Acteurs

MOA	Émission de la demande et arbitrages amont
MOE	Économie de la construction → consultation, consolidation des pièces
Architectes	Conception, pilotage des choix
Bureau de dessin	Plans/maquettes « rendus conformes »
Économie de la construction & Achats	Devis, précisions produits/quantités
Référent ACV	Extraction des quantitatifs, modélisation, analyse
Bureau thermique	Rapport thermique exploitable en ACV
Synthèse	Coordination et vérification inter-pièces
Bureau de contrôle	Validation finale

Tableau 24. Acteurs process intégration avec quantitatifs devis

Ressources

Les devis (source principale de quantitatifs), les plans issus du bureau de dessin, le rapport thermique, les FDES/DED (selon disponibilité), ainsi que l'outil/plateforme ACV pour la saisie, le calcul et la génération du rapport et du fichier XML envoyés au contrôle. L'ensemble repose sur une organisation documentaire permettant de retrouver, lire et interpréter rapidement ces pièces.

Avantages

Ce processus demande peu de mise en place spécifique : il réutilise des données déjà existantes (devis, plans) et prolonge des pratiques en place. Il centralise l'information en fin de chaîne chez le référent ACV, limite les changements organisationnels à court terme et permet de produire une ACV sans transformer immédiatement les routines amont.

Limites

L'ACV arrivant en bout de chaîne, les marges d'optimisation sont réduites et dépendent de données déjà figées. La collecte est chronophage (devis hétérogènes, pièces dispersées, absence possible de DPGF), la qualité/complétude des informations varie (FDES manquantes → DED ; manque de granularité sur la charpente et les lots techniques, besoin d'kg/élément), et des erreurs/manques subsistent côté rapport thermique ou devis. Les quantitatifs 3D ont été mis en pause faute de fiabilité opérationnelle (multiplicité d'acteurs/erreurs). Enfin, la montée en compétence et la formation sont nécessaires pour sécuriser la lecture des pièces, et le suivi "as-built" reste à systématiser pour vérifier en chantier la conformité réelle aux hypothèses de l'ACV.

4.3.4.2 Proposition 2 : quantitatif BIM

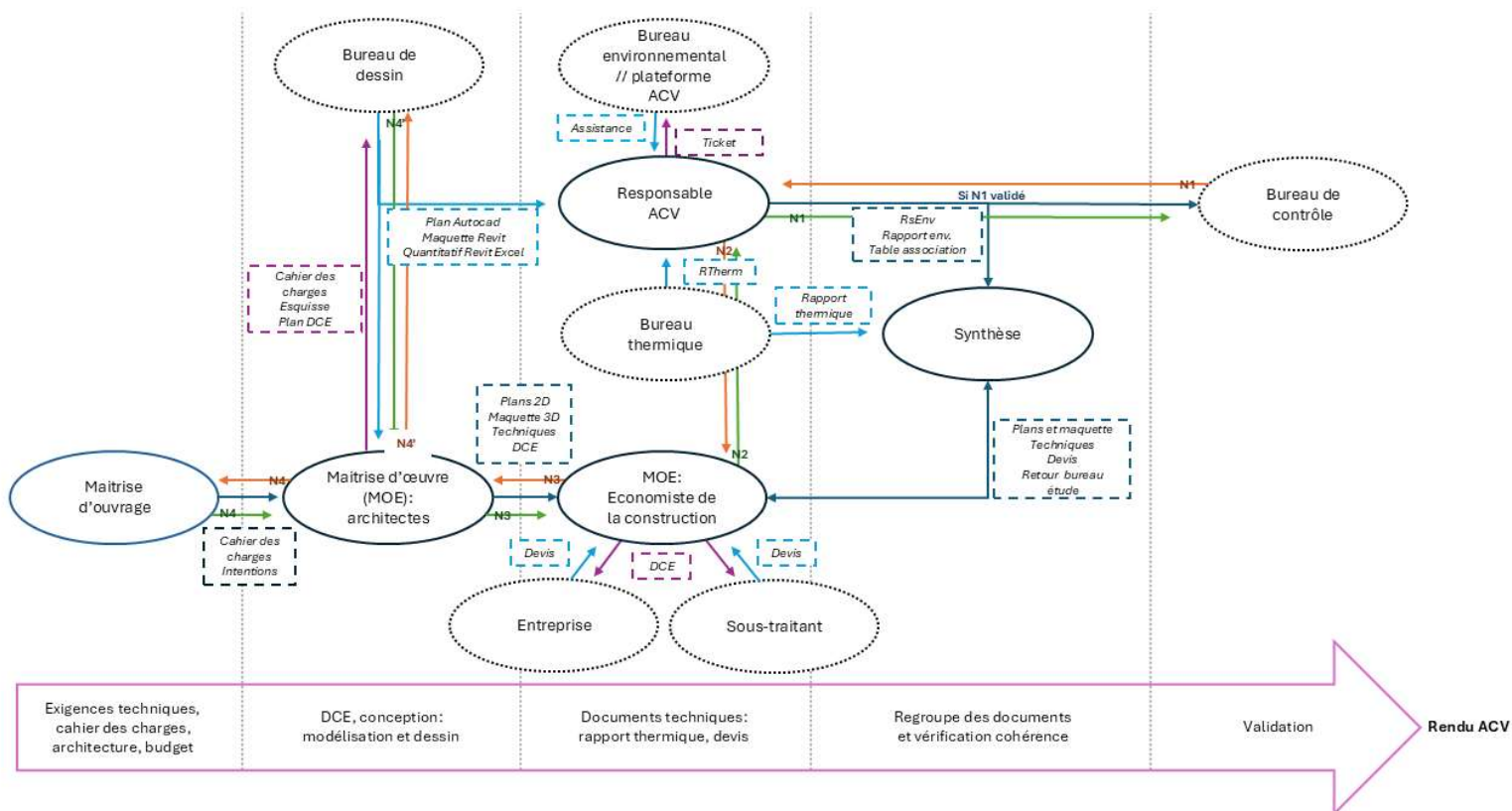


Figure 67. Schéma descriptif processus entreprise : quantitatifs BIM

Ce scénario introduit un nouvel apport de données : les quantitatifs BIM issus d'une maquette Revit. Comme précédemment, la MOA émet le cahier des charges et la MOE conçoit. La différence majeure tient au rôle accru du bureau de dessin : en parallèle des plans 2D, il produit une maquette 3D conforme à un code de modélisation prédéfini (codification Revit) et à une table d'association entre codes Revit et références FDES. Les plans/maquettes/quantitatifs sont transmis à la MOE côté économie de la construction et au pôle Achats (qui poursuivent leurs devis sans exploiter les quantitatifs Revit). En aval, le référent ACV ingère les quantités Revit, applique la table d'association Revit ↔ FDES, ne recourant aux devis que pour alimenter la table au départ et pour des contrôles ponctuels. La Synthèse vérifie la cohérence inter-pièces ; si besoin, retour vers l'ACV pour ajustements, puis envoi au bureau de contrôle. Le schéma comporte quatre niveaux de vérification rétrogrades :

- V1. Contrôle externe (bureau de contrôle) des résultats et de la conformité ;
- V2. Contrôle interne de Synthèse (coordination, cohérence entrées/sorties) ;
- V3. Ajustements par le référent ACV (paramétrage, affectations FDES) ;
- V4. Si nécessaire, corrections côté bureau de dessin et/ou compléments fournisseurs.

Si V1 est satisfaisant, le cycle s'arrête ; sinon on remonte V2 → V3 → V4 jusqu'à correction.

Acteurs

Résultats

<i>MOA</i>	<i>Cahier des charges initial</i>
<i>MOE</i>	Conception, pilotage des choix
<i>Architectes</i>	Conception, pilotage des choix
<i>Bureau de dessin</i>	Plans 2D + maquette 3D Revit conforme au code de modélisation
<i>Économie de la construction & Achats</i>	Consultation, devis (non-exploitation systématique des quantités Revit)
<i>Référent ACV</i>	Import des quantités Revit, application Revit ↔ FDES, modélisation et analyses
<i>Synthèse</i>	Coordination et vérification inter-pièces
<i>Bureau de contrôle</i>	Validation finale

Tableau 25. Acteurs process intégration avec quantitatifs BIM

Ressources

Les maquettes Revit et leurs quantitatifs, le code de modélisation (règles de nommage/codage), la table d'association Revit ↔ FDES, les plans 2D, les devis (usage initial et de vérification), le rapport thermique, et la plateforme ACV (calcul, rapport, XML). La maintenance de la table d'association (mise à jour des références FDES et des variantes produits) est un point névralgique.

Avantages

Le scénario « basée BIM » automatise partiellement la chaîne d'entrée : une fois la codification maîtrisée et la table Revit ↔ FDES stabilisée, l'extraction des quantités et l'affectation environnementale peuvent être accélérées et uniformisées d'un projet à l'autre. La maquette 3D offre de surcroît une vision consolidée des postes, propice à des contrôles de cohérence plus rapides.

Limites

En pratique, la maturité hétérogène des acteurs et l'absence d'automatisation totale ont généré beaucoup d'erreurs (multiplicité d'intervenants, variations de pratiques), conduisant à mettre en pause les quantitatifs 3D. La table d'association impose un entretien constant et ne capte pas aisément les spécificités projet (ex. menuiserie atypique sur un cas minoritaire), d'autant que le bureau de dessin externe peut appliquer des valeurs génériques. Les modifications fréquentes en début de projet dégradent la stabilité des quantités ; l'ACV reste souvent tardive, avec une capacité limitée d'influencer la conception. Enfin, faute d'usage systématique par Économie/Achats, les devis et les quantités Revit évoluent en parallèle, créant des écarts et des retours supplémentaires.

4.3.4.3 Proposition 3 : pré- ACV et outils interne calcul quantitatifs

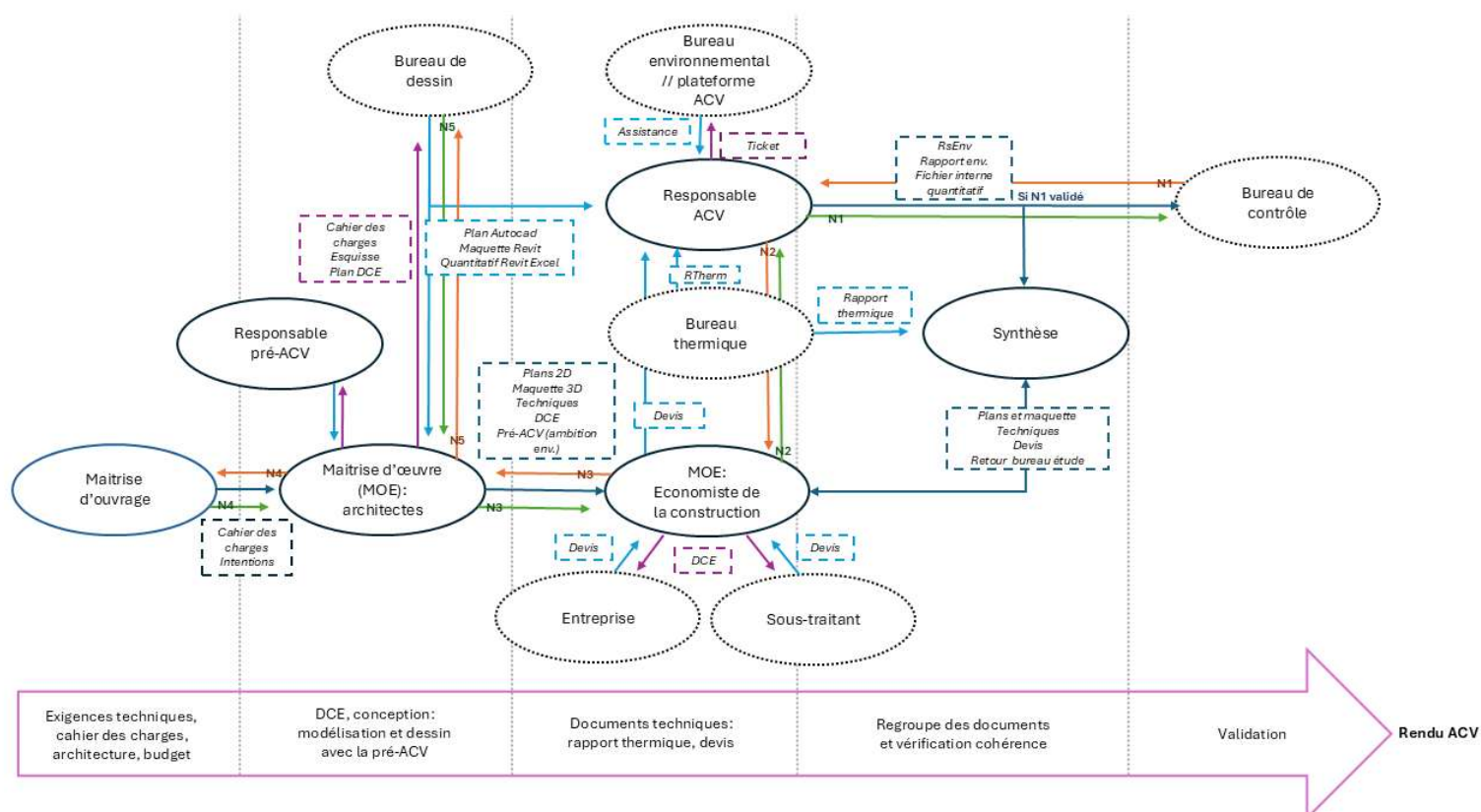


Figure 68. Schéma descriptif processus entreprise : pré ACV et outils interne calcul quantitatifs

Ce scénario introduit deux leviers simultanés : une pré-ACV réalisée en amont de la conception, et un outil interne de calcul des quantités nécessaires à l'ACV. La MOA transmet son cahier des charges ; dès le démarrage de la MOE, une pré-ACV est conduite en interne par une personne compétente, afin de coconstruire des directives (matériaux, variantes, postes dominants) avec les concepteurs. Ces choix sont ensuite pris en compte par le bureau de dessin, qui poursuit la maquette 3D (déjà amorcée précédemment) et les plans 2D.

Le référent ACV ne s'appuie plus sur une seule source : il croise les devis, les plans/maquettes et complète l'outil interne qui génère les quantités requises pour l'ACV (selon le périmètre RE2020). Les données sont ensuite intégrées dans la plateforme ACV pour produire le rapport et le fichier XML, transmis à la Synthèse puis au bureau de contrôle. En cas de non-conformité, une boucle rétrograde s'opère par paliers (Synthèse → ACV → bureaux d'études → jusqu'à la MOA si besoin pour réexaminer les ambitions). La Synthèse reste un nœud d'allers-retours avec les différents acteurs pour vérifier la coordination d'ensemble.

Acteurs

MOA	Cadrage et arbitrages initiaux.
MOE (architectes)	Conception et intégration des directives issues de la pré-ACV.
Bureau de dessin Économie/Achats	Plans 2D & maquette 3D alignés sur les choix amont. Devis, consolidation des pièces.
Réfèrent ACV	Pré-ACV, croisement devis ↔ plans/maquette, alimentation de l'outil interne, modélisation ACV.

Bureaux d'études (thermique/structure)	Rapport thermique et données techniques.
Synthèse	Contrôle de cohérence inter-pièces, coordination.
Bureau de contrôle	Validation finale (rapport + XML).

Tableau 26. Acteurs process intégration avec pré- ACV et outils interne calcul quantitatifs

Ressources

Le cœur du dispositif est l'outil interne de quantification, construit autour des exigences RE2020 : il reprend les éléments obligatoires à déclarer pour une ACV valide, alimente les feuilles par lot à partir d'une fiche identité projet (surfaces, matériaux, paramètres de charpente, ouvrants, etc.), et relie ces données aux devis et aux plans/maquettes. Les lots techniques peuvent, à court terme, être saisis en forfait lorsque la réglementation le permet encore (logique « RE2022 »), mais le schéma anticipe l'exigence de décomposition détaillée (horizon 2025 et au-delà), appelée à remplacer progressivement les forfaits.

Avantages

Cette organisation déplace l'ACV en amont et oriente la conception : la pré-ACV fixe tôt des garde-fous (matériaux, variantes), réduisant les surprises en fin de chaîne. Le double référencement (devis et plans/maquette) sécurise les quantités et fiabilise les choix, tandis que l'outil interne accélère la production des données et cible rapidement les postes dominants. La responsabilisation de la MOE est renforcée (cohérence entre intentions et livrables), et la traçabilité des hypothèses facilite le dialogue avec la Synthèse et le contrôle.

Limites

Le schéma est plus exigeant en pilotage : il suppose un référent ACV "gardien" pour conduire la pré-ACV, alimenter l'outil et tenir la ligne jusqu'à l'ACV finale. La complexité de croiser devis, plans et maquette impose une discipline de données (versionnage, règles de saisie) et du temps de préparation. La montée en détail des lots techniques (fin annoncée des forfaits) accroît la charge côté entreprises/sous-traitants. Enfin, sans acculturation suffisante, la dilution des tâches ACV dans l'équipe peut ralentir les itérations et affaiblir l'efficacité du dispositif.

4.3.5 Les grosses limites rencontrées et comment renforcer les opportunités

4.3.5.1 Limites majeures constatées

L'accès aux FDES est globalement bon mais incomplet : de nombreux postes restent couverts par des fiches collectives/DED, moins précises. Les descriptifs produits sont souvent insuffisamment détaillés (ex. « charpente » sans détail par éléments), ce qui impose désormais d'exiger des quantités générales par élément et les FDES afférentes. L'hétérogénéité des devis (formats, niveaux de détail) complique la lecture et la consolidation ; l'absence de DPGF sur certains projets disperse la documentation (multitude de devis). Des erreurs et manques apparaissent dans les rapports thermiques et dans les devis. Une partie des quantitatifs mobilisés par la thermique n'est pas partagée, générant des redondances de calculs. Le suivi documentaire est perfectible (documents multiples, absence de modèle commun), d'où des reconstructions répétées des mêmes informations. Le temps préparatoire est très important au démarrage (collecte, « chasse à l'info », mise en qualité). Après le départ de la personne dédiée, il a fallu former des relais pour maintenir la production. Le manque de recul initial freine l'appropriation ; l'absence de projet-type et de document "scénario d'implémentation" ralentit la montée en maturité.

Les quantitatifs 3D ont été mis en pause (trop d'erreurs, trop d'acteurs), malgré un travail structurant préalable ; un retour reste possible mais conditionné à un plan qualité stricte. La plateforme ACV génère, au début, des anomalies récurrentes (imports/validations) nécessitant un recours intensif au support. L'usage en phase de conception est encore trop limité : faute de pré-ACV systématique, les marges d'optimisation se referment trop tôt. Au-delà du devis, le contrôle in situ de ce qui est réellement posé reste insuffisamment systématisé, ce qui fragilise la traçabilité « devis → ACV → chantier ».

4.3.5.2 Renforcer les opportunités à partir de ces limites

Il convient de déployer un modèle de devis intégrant unités, niveaux de détail et références, d'exiger un document central de données lorsque le document n'existe pas, et de rendre obligatoire un niveau de détail sur les postes clés (par exemple charpentes et gros œuvres exprimés en kg par élément). Chaque offre devra comporter les FDES (ou, à défaut, des DED) ainsi que les références produits correspondantes. La mise en place d'un référentiel commun (dictionnaire de données, unités, codifications), adossé à un répertoire maîtrisé (noms, versions, traçabilité), doit s'accompagner d'un partage structuré des quantitatifs avec la thermique afin d'éliminer les doubles calculs. Un document « scénario d'implémentation » et des check-lists standard viendront formaliser les attendus et sécuriser les échanges.

Il s'agit d'institutionnaliser la pré-ACV en amont pour tester variantes, matériaux et postes dominants, puis de réaliser l'ACV complète en synthèse. Un projet-type pilote, une base de connaissances (erreurs récurrentes et solutions) et un plan de formation ciblé (lots techniques, lecture de devis, pratique ACV) structureront la montée en compétence. Le retour vers la 3D doit être encadré par un plan qualité (bibliothèques verrouillées, tables d'association Revit ↔ INIES, contrôles d'extraction), tout en conservant une voie 2D et devis robuste tant que la maturité n'est pas atteinte. Avec l'éditeur, un service de support et des priorités de correction permettront de réduire les erreurs initiales. Un formulaire fournisseur unique standardisera quantitatifs, références et FDES/DED ; les offres dépourvues de données environnementales seront déclarées non recevables. L'ACV sera valorisée comme critère multicritère (technique, économique, carbone) et l'introduction d'un signal prix carbone interne (bonus/malus) pourra guider les arbitrages. Un protocole de contrôles chantier (sondages, preuves) permettra de vérifier la conformité posée, puis d'alimenter la base interne avec les constats recueillis, afin de fiabiliser les hypothèses et d'améliorer la précision des projets suivants.

4.3.6 Conclusions de l'étude de cas

L'étude de cas met en évidence une intégration progressive de l'ACV au sein d'une maîtrise d'ouvrage, structurée autour de trois volets complémentaires : pré-ACV de cadrage, processus devis/quantités outillé, et liaisons BIM. La pré-ACV est positionnée très tôt pour fixer les hypothèses partagées, identifier les hotspots et cadrer les variantes ; des directives co-construites avec la conception guident la suite des études. Un outil interne de quantification facilite l'extraction/actualisation des quantités ; les maquettes 3D sont exploitées avec des règles d'association vers les FDES/EPD, sous la supervision d'un référent ACV. Des jalons (revues carbone) et des livrables intermédiaires assurent la traçabilité des hypothèses et des choix. Les effets observés portent sur une accélération des itérations utiles, une réduction des retours en arrière, une meilleure comparabilité des variantes et un dialogue renforcé avec les bureaux d'études et les fournisseurs. Les points de vigilance concernent la qualité/versions des données, l'alignement BIM–quantitatifs–EPD, et la capacité à absorber les pics de charge ; d'où le maintien d'un schéma hybride combinant ressources internes et appui externe pour la conformité et la

vérification. La priorité identifiée consiste à formaliser un mode opératoire reproductible (RACI, gabarits de pré-ACV, règles d'appariement, contrôles qualité, jalons), à suivre des indicateurs (temps, coûts, non-qualité, performance carbone) et à étendre progressivement la formation des équipes. En somme, l'étude de cas démontre qu'une gouvernance données-processus-rôles clairs transforme l'ACV en outil de pilotage et non en exigence documentaire.

<i>Challenges / drivers / obstacles</i>	Défis majeurs : alignement BIM–quantitatifs–EPD, gestion des versions, capacité à absorber les pics, formalisation des responsabilités. Drivers : exigences d'appels d'offres et besoin de traçabilité pour arbitrer
<i>Prise en charge & ressources</i>	Prise en charge structurée par une pré-ACV de cadrage, des directives co-construites, un outil interne de quantification et un référent ACV ; ressources externes mobilisées pour vérification/conformité.
<i>Innovation / prise de conscience</i>	Accélération des itérations utiles, comparabilité renforcée des variantes, diffusion de règles d'appariement et de gabarits ; sensibilisation accrue des équipes projet et des partenaires.
<i>Intégration interne/externe</i>	Mise en place d'un modèle hybride : pré-ACV et coordination des données en interne ; calculs normatifs/validation en externe ; montée progressive en compétences pour élargir l'internalisation.

Tableau 27. Réponses aux sous-questions à partir de l'étude de cas

5 Discussion

5.1 Les analyses

5.1.1 Analyse état de l'art

La littérature récente converge sur un fil directeur clair. Les cadres européens et nationaux installent la pensée « cycle de vie » au cœur des politiques du bâtiment et la traduisent en objectifs mesurables (déclaration puis plafonds d'émissions « whole-life »), ce qui rehausse les exigences de cohérence entre conception et ouvrage livré ainsi que la traçabilité des hypothèses (BPIE, 2024; Balouktsi et al., 2024). Cette dynamique crée les conditions d'une ACV orientée résultats plutôt que purement déclarative (BPIE, 2024). En parallèle, l'outillage reconfigure la place de l'ACV dans la conception. Les chaînes BIM et ACV et les configurateurs permettent d'explorer rapidement des variantes, de restituer des retours environnementaux exploitables par les équipes et de fluidifier la circulation d'information, faisant basculer l'ACV du « livrable réglementaire » vers un instrument de pilotage du projet (Kanafani et al., 2021; Campo Gay et al., 2024). Lorsqu'ils sont bien paramétrés et adossés à des bibliothèques crédibles, ces outils soutiennent des arbitrages coût-impact et stabilisent plus tôt les décisions de conception (Kanafani et al., 2021). Ce potentiel reste conditionné par trois prérequis. D'abord, une gouvernance de la donnée : sources référencées, jeux par défaut maîtrisés, règles de modélisation partagées, contrôles de complétude et traçabilité des versions (Röck et al., 2022). Ensuite, une interopérabilité réelle entre logiciels (métrés, bibliothèques produits, EPD/FDES, passerelles d'échange) pour éviter les ressaisies et les écarts de périmètre (Kanafani et al., 2021). Enfin, des compétences distribuées et entretenues (référent ACV, concepteurs formés, pratiques d'audit reproductibles) afin d'ancrer l'usage dans les équipes (Balouktsi et al., 2024). Les freins récurrents sont connus : complexité perçue de l'ACV en contexte de conception, hétérogénéité des méthodes et des règles de calcul, accès difficile à des données représentatives/comparables, fragmentation des outils et coûts/délais élevés lorsque la chaîne n'est pas industrialisée (Kanafani et al., 2021; Röck et al., 2022; Balouktsi et al., 2024). Ils se

doublent d'un écart théorie–pratique qui complique la comparabilité des résultats et ralentit l'appropriation (Kanafani et al., 2021). Pour une intégration véritablement aboutie, plusieurs gaps ressortent : (1) des guides opérationnels de mise en œuvre (processus étape par étape, contrôles qualité, conventions BIM→ACV, modèles d'échanges et preuves d'audit) encore insuffisamment détaillés (Campo Gay et al., 2024) ; (2) une harmonisation accrue des méthodes/indicateurs adossée à des benchmarks robustes par typologie et contexte (Balouktsi et al., 2024) ; (3) des jeux de données plus riches et représentatifs à l'échelle européenne, facilement mobilisables et interoperables (Röck et al., 2022) ; (4) une ingénierie organisationnelle concrète (rôles, budget environnemental jalonné, pré-ACV en amont, clauses contractuelles d'itération) pour passer de la conformité au pilotage (BPIE, 2024; Campo Gay et al., 2024). Au total, l'état de l'art dessine une trajectoire : passer d'une ACV centrée sur la conformité à une ACV de pilotage, appuyée sur des outils intégrés, une donnée gouvernée et des compétences ancrées, condition d'un levier d'innovation, de décision et de création de valeur durable (BPIE, 2024; Campo Gay et al., 2024).

5.1.2 Analyse croisée des résultats

La donnée est le véritable « nerf de la guerre ». L'automatisation de l'ACV, son intégration par les équipes en place en conception mais aussi dans des entreprises de construction réduit la saisie manuelle et promeut une gestion efficace. L'ACV suppose une bascule d'une logique de projet isolé vers une lecture par assemblages et suivis. Elle expose la fragilité des liaisons entre les données et requiert des conventions strictes pour éviter les dérives. D'où la nécessité d'une gouvernance des données (sources, versions, responsabilités) et d'un outillage capable de tracer les hypothèses, la complétude et les corrections au fil des itérations.

Les rôles et les séquences doivent être clarifiés dans les structures qui y sont confrontées. Instituer une pré-ACV en amont sécurise les arbitrages (matériaux, systèmes constructifs), à condition d'identifier un référent ACV, un data représentant ou de multiplier les binômes conception–environnement. De plus, cela permet de réduire les aller-retours et d'installer des boucles courtes (design → ACV → décision). Le degré d'appropriation dépend des pratiques établies et du modèle d'affaires (internalisation, externalisation, hybride), qui orientent le niveau d'exigence et la temporalité des livrables.

Le passage d'une ACV traitée comme « case à cocher » à un apprentissage collectif est décisif. En externalisation, la transformation reste limitée. Dès qu'une part d'internalisation existe, les équipes se responsabilisent, la formation devient un levier, et des discussions de fond s'ouvrent (interprétation des écarts, conséquences si les seuils ne sont pas tenus). L'ACV se rapproche alors des décisions de conception et gagne en légitimité. On observe que quelques soient les sources d'intérêt et de motivation des personnes participant à ce travail, il faut continuer à les développer afin que l'ACV soit plus que naturelle dans la manière de construire. L'importance est de clarifier les gains perçus lors de son intégration dans les processus et après lors de la réalisation de leurs projets.

Limite identifiée	Levier / opportunité – action de renforcement	Effet attendu
<i>FDES incomplètes → recours fréquent aux DED</i>	Exiger FDES par défaut, DED à défaut ; formulaire fournisseur standardisé, pousse les fabricants à en faire	Données plus fiables et comparables
<i>Descriptifs trop génériques (charpente, lots techniques)</i>	Granularité obligatoire (kg/élément, références produits)	ACV plus précise ; meilleur ciblage des postes
<i>Devis hétérogènes, DPGF absente</i>	Modèle de devis + DPGF minimale commune	Lecture simplifiée ; consolidation rapide

<i>Erreurs/manques dans rapport thermique et devis</i>	Partage structuré des quantitatifs ; circuit de validation court	Fin des redondances ; cohérence inter-métiers
<i>Temps préparatoire élevé, relai difficile</i>	Plan de formation + base de connaissances + projet-type	Montée en compétence accélérée ; pérennité
<i>Manque de recul au démarrage</i>	Veille générale sur les projets ; indicateurs de suivi	Apprentissage plus rapide, décisions éclairées
<i>Quantitatifs à partir de métré 2D (plan)</i>	Plan qualité 3D (bibliothèques, tables Revit↔INIES, contrôles) + voie 2D robuste, pousse initiatives BIM	Réduction des erreurs ; trajectoire 3D sécurisée
<i>Anomalies récurrentes sur la plateforme</i>	Support + priorisation des bugs ; gabarits d'import + développement plateforme en améliorant en fonction des retours utilisateurs	Démarrage fluide ; moins d'arrêts
<i>Usage insuffisant en conception (peu de pré-ACV)</i>	Pré-ACV systématique en amont, puis ACV finale pour des conceptions intelligentes	Ouverture des leviers d'optimisation
<i>Suivi « as-built » insuffisant</i>	Contrôles chantier et preuves ; boucle de retour	Traçabilité devis → pose ; hypothèses fiabilisées

Tableau 28.. Matrice de correspondance « limites → leviers » dans l'intégration ACV en interne

Entre conformité et pertinence, les contrôles de complétude et le recalage des quantités ont mécaniquement augmenté le score carbone (*effet « réalité des données »*). Cela est révélateur de la sensibilité aux choix du praticien et l'importance d'une trace d'audit pour justifier les hypothèses. Cela permet aussi de ne pas fermer ces tâches à une personne et d'ouvrir la discussion à ceux qui seraient intéressé. Ce retour d'expérience met en évidence la valeur des itérations jalonnées et du dialogue technique entre métiers.

AXE	RESULTATS
AXE TECHNIQUE	A mis au jour la centralité de la gouvernance de la donnée et les conditions d'un BIM→ACV fiable, fondant les recommandations sur les outils et les bibliothèques.
AXE ORGANISATIONNEL	A permis de dessiner l'architecture de processus, d'argumenter la mise en place d'un référent ACV et d'un rôle spécialiste données, et de préciser les exigences contractuelles d'itération.
AXE CULTUREL	A expliqué pourquoi et comment l'appropriation, éclairant l'intérêt d'un modèle hybride pour concilier faisabilité immédiate et apprentissage interne.
ÉTUDE DE CAS	A validé empiriquement les mécanismes identifiés, stress-testé les pratiques en contexte réglementaire, et fourni la base des recommandations opérationnelles.

Tableau 29. Axe et résultats

5.1.3 Confrontation état de l'art et résultats

	Hypothèse	Questionnaire	Entretiens	Étude de cas	État de l'art	Verdict
<i>H1 — Externalisation (recours principal à des BE ACV)</i>	Nuancé	Non	Non	Nuancé	Nuancé	Non
<i>H2 — Internalisation (compétences/outils ACV en interne)</i>	Nuancé	Nuancé	Nuancé	Nuancé	Nuancé	Nuancé
<i>H3 — Hybride (pilotage interne + appuis externes ciblés)</i>	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui

Tableau 30. Validation des hypothèses

Au croisement de nos résultats et de l'état de l'art, l'ACV ne devient réellement un outil de pilotage que lorsque la gouvernance des données, l'interopérabilité et des rôles clarifiés (pré-ACV, référent, jalons d'itération, traçabilité) sont en place, quitte à voir le score carbone augmenter avec la complétude des données. Dans ce contexte, le modèle hybride apparaît comme la voie la plus robuste : il concilie appropriation interne et sécurisation externe, accélère l'apprentissage des équipes et fiabilise les décisions environnementales.

5.2 Eclairer les facteurs qui favorisent ou freinent l'appropriation de l'ACV par les entreprises de la construction

L'analyse montre que l'ACV bascule progressivement d'un exercice de conformité vers un critère cardinal qui oriente la conception, les achats et la négociation de projet. Deux moteurs dominent. D'une part, la pression réglementaire (calculs, divulgations, valeurs-limites et cohérence conception et livré) impose un socle de comparabilité et contraint les trajectoires d'émissions. D'autre part, l'ACV devient un critère commercial à part entière. Bien que la pratique reste en structuration, moins de la moitié des entreprises déclarent une collaboration formalisée avec un organisme ACV (22 répondants), signe d'un marché encore en montée de maturité mais déjà mobilisé pour les offres et concours. Autrement dit, la performance ACV n'est plus seulement une obligation : c'est un marqueur de crédibilité technique et un atout compétitif. Cette dynamique s'appuie sur une exposition professionnelle croissante (sur un sous-échantillon, 19/21 déclarent avoir déjà participé à une ACV). En miroir, plusieurs freins structurent les difficultés d'appropriation. Sur le plan technique, la donnée demeure le « nerf de la guerre » : complétude des métrés, accès aux FDES/EPD, stabilité des liaisons BIM et ACV, gestion des hypothèses et des versions. Le questionnaire les classe au premier rang avec ressources humaines (disponibilité, compétences) et coûts/temps en conception ; les entretiens confirment le besoin de conventions, contrôles et traçabilité des données (entretien : « pré-ACV », P5-Plateforme ; « les architectes ne sont pas formés », P7-Foncière). L'automatisation réduit les saisies mais ne consiste pas à appuyer un bouton et attendre. Elle exige conventions, contrôles et traçabilité. Sur le plan organisationnel, l'absence de rôles clairs (référent ACV, relais « données », binôme conception-environnement) rallonge les délais et dilue les responsabilités. Sur le plan culturel, une ACV tenue « à l'externe » reste vécue comme une case à cocher, avec peu d'apprentissage interne. Enfin, au niveau stratégique, les équipes font face à trop de critères simultanés à valider, ce qui disperse l'effort et nuit à la priorisation. Trois orientations ressortent pour franchir ce cap. Premièrement, hiérarchiser les exigences via une matrice d'arbitrage resserrée (3 à 5 critères décisifs par phase), afin de transformer la surcharge normative en séquences décisionnelles claires. Deuxièmement, instaurer un budget environnemental, équivalent du budget financier, qui fixe des objectifs ACV jalonnés par phase et par lot, avec marges et règles de décision coût-impact. Troisièmement, généraliser des boucles courtes (design à l'ACV à la décision) adossées à une gouvernance des données (sources, versions, contrôles de complétude, piste d'audit), condition nécessaire pour que les résultats orientent réellement la conception.

La prise en charge de l'ACV dépend de la maturité des organisations et du cadre réglementaire (questionnaire : 42 réponses valides, majorité France 34/42), mais les enseignements convergent : ni l'externalisation intégrale ni l'internalisation totale ne constituent, à elles seules, une réponse générale. Les entreprises, bien qu'elles suivent un cadre et des réglementations (questionnaire : près des 3/4 des répondants souhaitent un renforcement de la réglementation), adaptent constamment les exigences à ce qui leur est disponible (ressources), leurs valeurs, leurs clients. L'externalisation sécurise rapidement la conformité, au prix d'une appropriation limitée et d'une dépendance méthodologique. L'internalisation renforce la maîtrise et la réactivité, mais requiert

un investissement initial significatif (outils, données, formation). Dans la majorité des cas, le modèle hybride (pilotage interne des données, de la pré-ACV et des arbitrages, appuis externes ciblés pour la revue, l'audit et les jalons critiques) offre le meilleur ratio impact/effort. Les ressources nécessaires se déclinent par paliers. Un noyau minimal s'impose dans tous les cas : un ou des référent(s) ACV identifié(s), des conventions BIM à ACV, une check-list de complétude et un rituel de revue. Le palier hybride ajoute un responsable data (même en temps partiel), des gabarits d'assemblages et un contrat d'appui BE pour sécuriser les étapes sensibles (APD/PRO, une fois construit). Le palier internalisé mobilise une équipe dédiée, des flux de données et un plan de formation métiers. Cette gradation permet d'aligner l'ambition ACV sur les moyens disponibles sans sacrifier la dynamique d'apprentissage (entretiens : différenciation en concours/marchés).

5.3 Proposer des repères pragmatiques pour guider les acteurs dans leurs choix d'organisation et pour transformer l'ACV d'un exercice de conformité en un véritable levier d'innovation

Au regard des résultats, le modèle hybride s'impose comme standard d'intégration. Il répartit la charge (collecte, modélisation, calcul, revue), clarifie les responsabilités (réfèrent ACV, relais données, rôles de revue), élargit l'implication au-delà du seul calcul (les concepteurs et les achats se sentent partie prenante) et sécurise la trajectoire réglementaire au moyen d'une tierce expertise (Entretiens : besoin d'un référent ACV et d'un RACI ; jalons « carbone » et règles d'appariement/contrôle). Cette architecture est particulièrement efficace pour transformer la performance ACV en avantage commercial : les offres peuvent afficher un objectif chiffré, un plan de convergence jalonné, et des variantes documentées, éléments valorisés dans les concours et susceptibles d'influer sur le prix final. Concrètement, la trajectoire d'entreprise peut être décrite ainsi : pré-ACV en amont (ESQ/APS) avec gabarits et objectifs par assemblage ; stabilisation BIM et ACV en milieu de cycle (APD/PRO) avec revue externe sur jalons critiques ; consolidation avec des exigences comme si le projet était construit ; en fin de cycle avec vérification indépendante (Entretiens : recours ciblé aux bureaux spécialisés pour la conformité). En transversal, la présence d'un référent ACV et d'un binôme conception-environnement permet d'ancrer la démarche dans les décisions, tandis que la fonction « données » garantit la fiabilité des résultats et leur comparabilité d'une phase à l'autre.

L'ACV agit comme un levier d'innovation dès lors que l'obligation initiale est reformulée en opportunité. Le mécanisme observé est cumulatif : la mise en place d'une pré-ACV et d'un budget environnemental déclenche des variantes comparables ; ces variantes alimentent des décisions plus tôt, qui elles-mêmes justifient des investissements ciblés (bibliothèques, gabarits, formation) ; ces investissements réduisent le coût marginal des itérations et libèrent de la capacité pour explorer des solutions plus ambitieuses. Cette dynamique d'apprentissages croisés, entre conception, environnement, achats et BE, crée un effet boule de neige : plus l'ACV est outillée et partagée, plus les opportunités identifiées sont nombreuses et transformatrices. Deux accélérateurs renforcent ce cercle vertueux. Le premier est managérial : la présence d'une personne initiatrice (« champion » ACV) et l'adhésion d'équipes « prêtes à changer » catalysent la diffusion des pratiques et la stabilité des rituels (revues, itérations). Le second est économique : l'introduction d'un signal prix interne sur le carbone (shadow price) aligne plus explicitement les arbitrages technique-coût-impact et prépare la traduction de la performance ACV dans la valeur perçue par le client et donc demain, dans la valorisation contractuelle.



Figure 69. Effet boule de neige de l'ACV

5.4 Choix d'hypothèse et justification

Au terme de cette double analyse, l'hypothèse "hybride" est retenue. Elle répond à la contrainte de capacités (tout internaliser immédiatement est rarement réaliste), tout en évitant le travers d'une externalisation qui produirait peu d'apprentissages. Elle répartit les responsabilités, implique un spectre plus large d'acteurs (y compris ceux qui ne réalisent pas le calcul, mais qui contribuent aux décisions) et ancre la performance ACV dans la chaîne de valeur du projet. Surtout, elle convertit la conformité en critère commercial maîtrisé et en levier d'innovation, conformément au rôle croissant de l'ACV dans les concours et, à court terme, dans la formation du prix final des offres. Ainsi, l'intégration de l'ACV ne doit plus être abordée comme un empilement de validations simultanées, mais comme une ingénierie de décision : hiérarchiser, jalonner, gouverner la donnée, itérer vite et rendre visibles les résultats. C'est à ces conditions que l'ACV cessera d'être un coût de conformité pour devenir un outil de pilotage, un avantage compétitif et un moteur de transformation durable des pratiques.

5.5 Autocritique

Le questionnaire n'a fourni que 41 réponses exploitables, insuffisant pour dégager des patterns robustes entre segments d'acteurs ou tailles d'entreprises. Les répondants et interviewés proviennent majoritairement de France et Belgique, avec une sous-représentation d'acteurs côté réglementation/autorités et une diversité de profils perfectible (manque de MOA publics, exploitants, fabricants de produits dans certaines familles). L'analyse repose sur un cas d'étude principal. Une comparaison inter-entreprises (deux à trois cas), ou une comparaison inter-processus (même projet traité par plusieurs organisations), aurait permis d'isoler plus clairement l'effet « organisation » et de l'effet « projet ». Le protocole temporel (fenêtre courte vs cycles longs de conception) limite en outre l'observation de changements culturels profonds. Les résultats sont ancrés dans le cadre RE2020 et un contexte européen spécifique. Les périmètres, les données disponibles (FDES/EPD) et les routines logicielles influencent la transférabilité vers d'autres pays/cadres. Enfin, l'interopérabilité BIM et ACV, la qualité des quantitatifs et le recours à des données par défaut ont pu introduire des variations non négligeables dans les résultats. L'absence d'un protocole formel d'audit externe systématique à chaque jalon constitue une limite méthodologique.

L'accès « de l'intérieur » a rendu visibles des mécanismes rarement documentés : organisation des rôles (référént ACV, relais « données »), effets des contrôles de complétude, moments de bascule où la pré-ACV influence réellement la conception, et dynamique du « champion » interne qui catalyse l'apprentissage. Cela a permis d'avoir accès à des documents et rendez-vous en interne qui étaient important dans la compréhension du cas d'étude, mais confidentiel pour les personnes extérieures à l'entreprise. La granularité des traces (versions, hypothèses, métrés) permet d'illustrer concrètement comment l'ACV passe du livrable à l'outil de pilotage. La double casquette (concepteur/analyste) réduit la neutralité d'observation. À l'avenir, il serait préférable de séparer les fonctions : un audit ACV externe/co-animé par un pair indépendant, des revues en aveugle de jeux de données, et un protocole d'analyse pré-déclaré (critères, seuils, tests) pour limiter l'influence de l'interprétation. Par ailleurs, multiplier les cas (entreprises différentes, ou un même projet comparé entre organisations) renforcerait la robustesse des inférences.

L'analyse qualitative met en évidence plusieurs paramètres sensibles :

- Complétude et sources de données. Le passage de données par défaut à des EPD spécifiques, l'ajout de postes omis (petits matériels, lots secondaires), ou le recalage des quantitatifs font monter le score (effet « réalité des données »).

- Périmètres méthodologiques. Les choix de modules (A1–A5 seuls vs cycle de vie élargi), de scénarios de fin de vie (réemploi/recyclage, distances) et de durées de vie de référence impactent l'ordre de grandeur et la hiérarchie des variantes.
- Chaîne BIM et ACV. Les conventions de modélisation (niveau d'assemblage, règles de mapping) et la stabilité des passerelles génèrent des écarts sensibles si elles ne sont pas fixées et auditées.
- Temporalité des itérations. Une pré-ACV précoce, répétée à faible coût, modifie significativement les choix ; une ACV tardive a un pouvoir correctif faible.

Faute d'un échantillon large et de plusieurs cas comparables, l'étude ne propose pas de quantification universelle des sensibilités. En revanche, elle protège ce qui doit être testé en priorité sur tout projet : (i) scénario de données (par défaut vs spécifiques), (ii) fond et forme des jeux de données, (iii) périmètres/méthodes, (iv) hypothèses de fin de vie et transports.

L'apport principal tient au décryptage des processus « amont » qui poussent les entreprises à adopter l'ACV (pression réglementaire, attentes de marché, présence d'un champion interne) et à l'analyse des transformations qui motivent l'appropriation (gouvernance des données, clarification des rôles, rituels d'itération). L'étude propose une lecture opportuniste des freins : chaque contrainte (données, délais, compétences) peut être convertie en levier d'amélioration si elle est traitée comme un objet de conception (gabarits, check-lists, budget environnemental, revue externe). Elle formalise un chemin hybride d'intégration qui élargit l'implication des équipes et renforce la légitimité interne de l'outil, mais aussi ouvre la porte à l'ACV comme un critère commercial.

Les pistes d'ouverture pour des futures recherches sont :

<i>Elargir l'échantillon et varier les plans de comparaison</i>	(i) mêmes projets traités par des entreprises différentes ; (ii) mêmes entreprises sur plusieurs projets comparables ; (iii) inclusion d'acteurs réglementaires et d'acheteurs publics/privés.
<i>Standardiser les artefacts</i>	Coconstruire (avec un panel d'entreprises) un formulaire d'intégration ACV commun, des fiches "leviers/opportunités/risques" par lot, et un gabarit de pré-ACV (assemblages, unités fonctionnelles, conventions).
<i>Fournir un "planning type" d'intégration</i>	Étapes, jalons, responsabilités, ressources (temps/outils/compétences) par palier de maturité, pour faciliter l'appropriation
<i>Mettre en place des audits croisés</i>	Pairs externes sur deux jalons clés (APD/PRO et as-built), avec pistes d'audit (sources/versions) publiées ; mesurer l'effet de ces audits sur la qualité et la rapidité des décisions.
<i>Tester un signal prix interne sur le carbone</i>	Observer l'impact sur les arbitrages technico-économiques et la compétitivité en concours.

Tableau 31. Les pistes d'ouverture

6 Conclusion

Ce travail montre que l'ACV quitte la logique de conformité pour devenir un outil de pilotage et un critère commercial : elle oriente la conception, crédibilise l'offre en concours et peut peser sur le prix final. Les résultats croisés (questionnaire, entretiens, cas) confirment trois pivots : gouvernance de la donnée (sources, versions, traçabilité), pré-ACV en amont pour sécuriser les arbitrages, et chaîne d'automatisation encore fragile mais décisive. Sur cette base, le modèle hybride s'impose comme standard : pilotage et décisions en interne, sécurisation jalonnée par expertise externe, ce qui répartit les charges, clarifie les rôles et élargit l'implication des équipes. L'apport du mémoire est double : analytique (cartographie des moteurs/freins, lecture opportuniste des « freins → leviers ») et opérationnel (outils prêts à l'emploi : budget environnemental, boucles courtes de la conception à l'ACV à la prise de décision, référent ACV & data, gabarits d'assemblages, revues externes aux jalons). Ces propositions soutiennent l'effet boule de neige : l'obligation initiale se transforme en opportunités et en innovation organisationnelle. Des limites sont reconnues : 41 réponses exploitables, ancrage France/Belgique, un cas d'étude principal et un biais de proximité terrain. En ouverture, le travail propose d'élargir l'échantillon (inclure MOA et régulateurs), de standardiser les artefacts (formulaire d'intégration, fiches leviers/opportunités, planning-type d'intégration), et de quantifier les sensibilités (données, périmètres, passerelles). En somme, l'ACV devient un instrument de gouvernance reliant exigence réglementaire, performance mesurable et avantage concurrentiel durable.

BIBLIOGRAPHIE

- Ahmed, M. Z., O'Donoghue, C., & McGetrick, P. (2024). Green public procurement in construction : A systematic review. *Cleaner and Responsible Consumption*, 15, 100234. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2024.100234>
- Alshamrani, O. S. (2022). Integrated LCA-LCC assessment model of offsite, onsite, and conventional construction systems. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 21(5), 2058-2080. <https://doi.org/10.1080/13467581.2021.1942001>
- Ansah, M. K., Chen, X., Yang, H., Lu, L., & Lam, P. T. I. (2020). An integrated life cycle assessment of different façade systems for a typical residential building in Ghana. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101974. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101974>
- Apostolopoulos, V., Mamounakis, I., Seitaridis, A., Tagkoulis, N., Kourkoumpas, D.-S., Iliadis, P., Angelakoglou, K., & Nikolopoulos, N. (2023). An integrated life cycle assessment and life cycle costing approach towards sustainable building renovation via a dynamic online tool. *Applied Energy*, 334, 120710. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120710>
- Arborio, A.-M., & Fournier, P. (2021). *L'observation directe* (3ème). Armand Colin.
- Arbulu, M., Oregi, X., & Etxepare, L. (2023). Environmental and economic optimization and prioritization tool-kit for residential building renovation strategies with life cycle approach. *Building and Environment*, 228, 109813. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109813>
- Arup & World Business Council for Sustainable Development. (2023). *Net-zero buildings, Halving construction emissions today*.
- Attia, S. (Réalisateur). (2020). 2020. *Qualitative research methods* [Enregistrement vidéo]. <https://www.youtube.com/watch?v=l6sYXbTdI7w&list=PLEQelqigDzwJ6tOeKZLkM3xhKn6mFnCT&index=11>, consulté le 25/04/23.

Conclusion

Barjot, Z., & Malmqvist, T. (2024). Limit values in LCA-based regulations for buildings – System boundaries and implications on practice. *Building and Environment*, 259, 111658.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111658>

Bartels, N., Pleuser, J., & Schroeder, T. (2023, juillet 7). *Life cycle-oriented decision making based on data-driven building models*. 40th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Chennai, India. <https://doi.org/10.22260/ISARC2023/0099>

Basbagill, J. P., Flager, F. L., & Lepech, M. (2014). A multi-objective feedback approach for evaluating sequential conceptual building design decisions. *Automation in Construction*, 45, 136-150. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.015>

Blanchet, A., & Gotman, A. (2015). *L'entretien* (2 ème). Hachette.

Boulan, H. (2015). *Le questionnaire d'enquête : Les clés d'une étude marketing ou d'opinion réussie*. Paris : Dunod.

BPIE. (2024). *The EPBD decrypted : A treasure chest of opportunities to accelerate building decarbonisation*. BPIE (Buildings Performance Institute Europe).

<https://www.bpie.eu/publication/the-epbd-decrypted-a-treasure-chest-of-opportunities-to-accelerate-building-decarbonisation/>

Brändström, J., & Saidani, M. (2022). Comparison between circularity metrics and LCA : A case study on circular economy strategies. *Journal of Cleaner Production*, 371, 133537.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133537>

Campo Gay, I., Hvam, L., Haug, A., Huang, G. Q., & Larsson, R. (2024). A digital tool for life cycle assessment in construction projects. *Developments in the Built Environment*, 20,

100535. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100535>

Carlsson Reich, M. (2005). Economic assessment of municipal waste management systems—Case studies using a combination of life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC). *Journal of Cleaner Production*, 13(3), 253-263.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.015>

Conclusion

Cooper, R. G., Edgett, S. J., & Kleinschmidt, E. J. (1999). New Product Portfolio Management :

Practices and Performance. *Journal of Product Innovation Management*, 16(4), 333-351.

<https://doi.org/10.1111/1540-5885.1640333>

Di Maria, A., Eyckmans, J., & Van Acker, K. (2020). Use of LCA and LCC to help decision-making

between downcycling versus recycling of construction and demolition waste. In

Advances in Construction and Demolition Waste Recycling (p. 537-558). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819055-5.00026-7>

Durão, V., Costa, A. A., Silvestre, J. D., Mateus, R., & De Brito, J. (2019). Integration of

environmental life cycle information in BIM objects according with the level of

development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225, 012075.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012075>

Famiglietti, J., Toosi, H. A., Dénarié, A., & Motta, M. (2022). Developing a new data-driven LCA

tool at the urban scale : The case of the energy performance of the building sector.

Energy Conversion and Management, 256, 115389.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115389>

Fregonara, E., Ferrando, D. G., & Tulliani, J.-M. (2022). Sustainable Public Procurement in the

Building Construction Sector. *Sustainability*, 14(18), 11616.

<https://doi.org/10.3390/su141811616>

Ghattas, R., Gregory, J., Noori, M., Miller, R., Olivetti, E., & Greene, S. (2016). *Life Cycle*

Assessment for Residential Buildings : A Literature Review and Gap Analysis Rev.

https://www.researchgate.net/publication/309034390_Life_Cycle_Assessment_for_Residential_Buildings_A_Literature_Review_and_Gap_Analysis_Rev_1

https://www.researchgate.net/publication/309034390_Life_Cycle_Assessment_for_Residential_Buildings_A_Literature_Review_and_Gap_Analysis_Rev_1

Gillott, C., Mihkelson, W., Lanau, M., Cheshire, D., & Densley Tingley, D. (2023). Developing

Regenerate : A circular economy engagement tool for the assessment of new and

existing buildings. *Journal of Industrial Ecology*, 27(2), 423-435.

<https://doi.org/10.1111/jiec.13377>

Conclusion

- Giorgi, S., Lavagna, M., & Campioli, A. (2019). LCA and LCC as decision-making tools for a sustainable circular building process. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 296(1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012027>
- Goedkoop, M., Heijungs, R., & Huijbregts, M. (2013). *ReCiPe 2008 : A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*.
https://www.researchgate.net/publication/302559709_ReCiPE_2008_A_life_cycle_impact_assessment_method_which_comprises_harmonised_category_indicators_at_the_midpoint_and_the_endpoint_level
- Green Building Council Denmark. (2023). *Circular Economy Taxonomy Study*.
- Heijungs, R., Settanni, E., & Guinée, J. (2013). Toward a computational structure for life cycle sustainability analysis : Unifying LCA and LCC. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(9), 1722-1733. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0461-4>
- Hester, J., Gregory, J., Ulm, F.-J., & Kirchain, R. (2018). Building design-space exploration through quasi-optimization of life cycle impacts and costs. *Building and Environment*, 144, 34-44. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.08.003>
- Hoogmartens, R., Van Passel, S., Van Acker, K., & Dubois, M. (2014). Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review*, 48, 27-33. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.05.001>
- International Organization for Standardization. (2006). *Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework (ISO 14040:2006)*.
<https://www.iso.org/standard/37456.html>
- International Organization for Standardization. (2020). *Sustainability in buildings and civil engineering works—Indicators and benchmarks—Principles, requirements and guidelines (ISO 21678:2020)*. ISO. <https://www.iso.org/standard/71344.html>

Conclusion

ISO. (2021). *ISO 14031:2021—Environmental management—Environmental performance evaluation—Guidelines (3rd ed.)*. International Organization for Standardization.

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0990790c-4bc0-4417-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0990790c-4bc0-4417-808116065197cf4d/iso-14031-2021)

[808116065197cf4d/iso-14031-2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0990790c-4bc0-4417-808116065197cf4d/iso-14031-2021)

John W. Creswell & J. David Creswell. (2014). *Research Design : Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*.

[https://books.google.fr/books?hl=en&lr=&id=335ZDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT16&dq=+Research+Design:+Qualitative,+Quantitative,+and+Mixed+Methods+Approaches+\(4e+%C3%A9d.,+2014\)&ots=YEWXOIxrvL&sig=zu9aMprkUZOfojD-r8ZBdkMtTdY&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.fr/books?hl=en&lr=&id=335ZDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT16&dq=+Research+Design:+Qualitative,+Quantitative,+and+Mixed+Methods+Approaches+(4e+%C3%A9d.,+2014)&ots=YEWXOIxrvL&sig=zu9aMprkUZOfojD-r8ZBdkMtTdY&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

Jorge-Ortiz, A., Braulio-Gonzalo, M., & Bovea, M. D. (2025a). Environmental and economic performance of residential buildings : LCA|LCC tool and case study in Colombia.

Building and Environment, 269, 112459. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112459>

Jose Valdez Echeverria, A., Palacios, J., Cerezo Davila, C., & Zheng, S. (2023). Quantifying the financial value of building decarbonization technology under uncertainty : Integrating energy modeling and investment analysis. *Energy and Buildings*, 297, 113260.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113260>

Kambanou, M. L., & Sakao, T. (2020). Using life cycle costing (LCC) to select circular measures :

A discussion and practical approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104650. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104650>

Kanafani, K., Kjær Zimmermann, R., Nygaard Rasmussen, F., & Birgisdóttir, H. (2021). Learnings from Developing a Context-Specific LCA Tool for Buildings—The Case of LCAbyg 4.

Sustainability, 13(3), 1508. <https://doi.org/10.3390/su13031508>

Khadim, N., Agliata, R., Han, Q., & Mollo, L. (2025). From circularity to sustainability : Advancing the whole building circularity indicator with Life Cycle Assessment (WBCI-LCA). *Building and Environment*, 269, 112413. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112413>

Conclusion

- Kiani Mavi, R., Gengatharen, D., Kiani Mavi, N., Hughes, R., Campbell, A., & Yates, R. (2021). Sustainability in Construction Projects : A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 13(4), 1932. <https://doi.org/10.3390/su13041932>
- Kim, J.-U., Hadadi, O. A., Kim, H., & Kim, J. (2018). Development of A BIM-Based Maintenance Decision-Making Framework for the Optimization between Energy Efficiency and Investment Costs. *Sustainability*, 10(7), 2480. <https://doi.org/10.3390/su10072480>
- Kuittinen, M., & Häkkinen, T. (2020). Reduced carbon footprints of buildings : New Finnish standards and assessments. *Buildings and Cities*, 1(1), 182-197. <https://doi.org/10.5334/bc.30>
- Kun Lu, Xiaoyan Jiang, Jingyu Yu, Vivian W.Y. Tam, & Martin Skitmore. (2021). *Integration of life cycle assessment and life cycle cost using building information modeling : A critical review*.
- Larsen, V. G., Tollin, N., Sattrup, P. A., Birkved, M., & Holmboe, T. (2022). What are the challenges in assessing circular economy for the built environment? A literature review on integrating LCA, LCC and S-LCA in life cycle sustainability assessment, LCSA. *Journal of Building Engineering*, 50, 104203. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104203>
- Leffel, B. (2022). Climate consultants and complementarity : Local procurement, green industry and decarbonization in Australia, Singapore, and the United States. *Energy Research & Social Science*, 88, 102635. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102635>
- Lehmann, A., Russi, D., Bala, A., Finkbeiner, M., & Fullana-i-Palmer, P. (2011). Integration of Social Aspects in Decision Support, Based on Life Cycle Thinking. *Sustainability*, 3(4), 562-577. <https://doi.org/10.3390/su3040562>
- Li, M., Lu, K., Wang, H., & Wang, S. (2020). Integrating BIM with greenhouse-gas emissions in AEC : A scientometric review. *E3S Web of Conferences*, 143, 01008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014301008>

Conclusion

Life Cycle Initiative. (2024). *Life Cycle Initiative Progress Report 2024*.

<https://www.lifecycleinitiative.org/>

L'observatoire de la construction durable & Saint Gobain. (2025). *Baromètre de la construction durable*. <https://www.constructing-sustainable-future.com/barometre-de-la-construction-durable-2025/>

Lu, K., Jiang, X., Yu, J., Tam, V. W. Y., & Skitmore, M. (2021). Integration of life cycle assessment and life cycle cost using building information modeling : A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 285, 125438. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125438>

Martens, M. L., & Carvalho, M. M. (2016). The challenge of introducing sustainability into project management function : Multiple-case studies. *Journal of Cleaner Production*, 117, 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.039>

Mattinzioli, T., Lo Presti, D., & Jiménez Del Barco Carrión, A. (2022). A critical review of life cycle assessment benchmarking methodologies for construction materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 33, e00496. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2022.e00496>

Memon, M. A., Ting, H., Cheah, J.-H., Thurasamy, R., Chuah, F., & Cham, T. H. (2020). Sample Size for Survey Research : Review and Recommendations. *Journal of Applied Structural Equation Modeling*, 4(2), i-xx. [https://doi.org/10.47263/JASEM.4\(2\)01](https://doi.org/10.47263/JASEM.4(2)01)

Ministère de la Transition écologique. (2020). *Déclaration environnementale de certains produits de construction et équipements destinés au bâtiment*. <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/declaration-environnementale-certains-produits-construction-equipements>

Ministère de la Transition écologique. (2021). *Annexe II – Règles générales pour le calcul de la performance énergétique et environnementale (Méthode Th-BCE 2020), dans Arrêté du 4 août 2021 relatif aux exigences de performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments en France métropolitaine et portant approbation de la*

Conclusion

méthode de calcul prévue à l'article R. 172-6 du CCH.

<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043936431>

Ministère de la Transition écologique, & Cerema. (2024). *Guide de la RE2020*.

Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic Analysis : Striving to Meet the Trustworthiness Criteria. *International Journal of Qualitative Methods*, 16(1), 1609406917733847. <https://doi.org/10.1177/1609406917733847>

Pannier, M.-L., Schalbart, P., & Peuportier, B. (2023). Dealing with uncertainties in comparative building life cycle assessment. *Building and Environment*, 242, 110543. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110543>

Parlement européen & Conseil de l'Union européenne. (2012). *Directive 2012/27/UE du Parlement européen et du Conseil du 25 octobre 2012 relative à l'efficacité énergétique, modifiant les directives 2009/125/CE et 2010/30/UE et abrogeant les directives 2004/8/CE et 2006/32/CE*. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000027143094>

Parlement européen & Conseil de l'Union européenne. (2014). Directive 2014/24/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 février 2014 sur la passation des marchés publics et abrogeant la directive 2004/18/CE. *Journal officiel de l'Union européenne*. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2014/24/oj/eng?utm_

Pierre Paillé & Alex Mucchielli. (2021). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales*. https://www.google.fr/books/edition/_/iFQmEAAAQBAJ?hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwjC6dGiv86NAXV9TKQEHUwBDY

Röck, M., Sørensen, A., Steinmann, J., Lynge, K., Horup, L. H., Tozan, B., Le Den, X., & Birgisdottir, H. (2022). *Towards embodied carbon benchmarks for buildings in Europe—#1 Facing the data challenge*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6120522>

Conclusion

- Safari, K., & AzariJafari, H. (2021). Challenges and opportunities for integrating BIM and LCA : Methodological choices and framework development. *Sustainable Cities and Society*, 67, 102728. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102728>
- Säwén, T., Magnusson, E., Sasic Kalagasidis, A., & Hollberg, A. (2022). Tool characterisation framework for parametric building LCA. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1078(1), 012090. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012090>
- Säynäjoki, A., Heinonen, J., Junnonen, J.-M., & Junnila, S. (2017). Input–output and process LCAs in the building sector : Are the results compatible with each other? *Carbon Management*, 8(2), 155-166. <https://doi.org/10.1080/17583004.2017.1309200>
- Scherz, M., Kreiner, H., & Passer, A. (2023). Sustainable procurement for carbon neutrality of buildings : A Life Cycle Assessment (LCA)-based bonus/malus system to consider external cost in the bid price. *Developments in the Built Environment*, 14, 100161. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100161>
- Schwartz, N., Groves, R., & Schuman, H. (1998). *Survey Methods*. https://www.researchgate.net/publication/232562918_Survey_methods
- Stadel, M., & Stulp, G. (2022). Balancing bias and burden in personal network studies. *Social Networks*, 70, 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2021.10.007>
- Sustainability of construction works : Environmental product declarations : core rules for the product category of construction products* (English version). (2021). BSI Standards Limited.
- Tecchio, P., Gregory, J., Olivetti, E., Ghattas, R., & Kirchain, R. (2019). Streamlining the Life Cycle Assessment of Buildings by Structured Under-Specification and Probabilistic Triage. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 268-279. <https://doi.org/10.1111/jiec.12731>
- Tozan, B., Hoxha, E., Olsen, C. O., Rose, J., Kragh, J., Andersen, C. E., Sørensen, C. G., Garnow, A., & Birgisdóttir, H. (2024). A novel approach to establishing bottom-up LCA-based limit

Conclusion

values for new construction. *Building and Environment*, 263, 111891.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111891>

Trigaux, D., Oosterbosch, B., De Troyer, F., & Allacker, K. (2017). A design tool to assess the heating energy demand and the associated financial and environmental impact in neighbourhoods. *Energy and Buildings*, 152, 516-523.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.057>

United Nations Environment Programme. (2022). *Global Status Report for building and construction*. <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>

United Nations Environment Programme. (2024). *2023 Global Status Report for Buildings and Construction : Beyond foundations - Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector*. United Nations Environment Programme.

<https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>

(Vismara, M., & Fransen, S. (2022). *GUIDE POUR LES MAITRES D'OUVRAGE PUBLICS*. Bruxelles environnement.

https://guidebatimentdurable.brussels/sites/default/files/documents/2022-12/TOTEM%20Mpublic_20220727_FR.pdf

Witt, E., & Blaschke, J. (s. d.). *ECB data for analysis and decision-making : Data governance and technology*. <https://ideas.repec.org/h/bis/bisifc/49-36.html>

Zhang, C., Hu, M., Laclau, B., Garnesson, T., Yang, X., Li, C., & Tukker, A. (2021). Environmental life cycle costing at the early stage for supporting cost optimization of precast concrete panel for energy renovation of existing buildings. *Journal of Building Engineering*, 35,

102002. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.102002>

ANNEXE

Annexe 1. Les abréviations

<i>Abréviation</i>	<i>Français</i>	<i>Anglais</i>	<i>Définition</i>
ACC	Analyse du coût du cycle de vie	Life Cycle Costing (LCC)	Méthode d'évaluation économique des coûts sur tout le cycle de vie.
ACV	Analyse du cycle de vie	Life Cycle Assessment	Méthode d'évaluation environnementale sur tout le cycle de vie.
ACVI	Évaluation des impacts du cycle de vie	Life Cycle Impact Assessment (LCIA)	Phase qui convertit les flux d'inventaire en catégories d'impact.
ADP	Épuisement des ressources abiotiques (éléments)	Abiotic Depletion Potential (elements)	Indicateur d'épuisement des ressources minérales/élémentaires.
ADPE	Épuisement des ressources abiotiques (éléments)	Abiotic Depletion Potential, elements (ADPe)	Indicateur d'épuisement des ressources minérales/élémentaires.
ADPF	Épuisement des ressources abiotiques – fossiles	Abiotic Depletion Potential (fossil fuels)	Indicateur d'épuisement des combustibles fossiles.
AMO	Assistance à maîtrise d'ouvrage	—	Soutien technique/administratif au maître d'ouvrage.
APDE	Épuisement des ressources abiotiques (éléments)	Abiotic Depletion Potential, elements (ADPe)	Indicateur d'épuisement des ressources minérales/élémentaires.
API	Interface de programmation d'applications	Application Programming Interface	Interface logicielle pour échanger/automatiser des données entre outils.
BACS	Systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments	Building Automation and Control Systems	Systèmes GTB/automatisation pour piloter et optimiser les installations.
BE	Bureau d'études	—	Structure d'ingénierie (thermique, structure, environnement, etc.).
BET	Bureau d'études techniques (thermique)	Technical Design Office (Thermal)	Bureau d'études spécialisé en thermique/énergie du bâtiment.
BIM	Modélisation des informations du bâtiment	Building Information Modeling	Processus et maquette numérique du bâtiment.
BOM	Nomenclature des matériaux	Bill of Materials	Liste structurée des composants/quantités d'un ouvrage ou produit.

Conclusion

<i>BREEAM</i>	Méthode d'évaluation environnementale (R.-U.)	Building Research Establishment Environmental Assessment Method	Système de certification environnementale des bâtiments (R.-U.).
<i>BTP</i>	Bâtiment et travaux publics	Construction and Public Works	Secteur économique regroupant bâtiment et travaux d'infrastructure.
<i>CAPEX</i>	Dépenses d'investissement	Capital Expenditure	Coûts initiaux d'un projet (investissement).
<i>CCTP</i>	Cahier des clauses techniques particulières	Special Technical Specifications	Document contractuel définissant les spécifications techniques d'un marché.
<i>CDW</i>	Déchets de construction et de démolition	Construction and Demolition Waste	Flux de déchets issus des chantiers et opérations de démolition.
<i>CE</i>	Conformité européenne (marquage CE)	European Conformity (CE marking)	Marquage attestant la conformité aux exigences des directives européennes.
<i>CED</i>	Demande cumulée d'énergie	Cumulative Energy Demand	Indicateur d'énergie primaire cumulée sur le cycle de vie.
<i>CML</i>	Méthode d'évaluation d'impact (midpoint)	—	Famille de méthodes midpoint
<i>COV</i>	Composés organiques volatils	Volatile Organic Compounds (VOCs)	Famille de polluants organiques volatils contribuant au smog/toxicité.
<i>CSRD</i>	Directive sur le reporting de durabilité des entreprises	Corporate Sustainability Reporting Directive	Directive UE imposant un reporting extra-financier élargi (ESRS).
<i>CSTB</i>	Centre scientifique et technique du bâtiment	Scientific and Technical Center for Building	Organisme public français d'évaluation, R&D et normalisation dans le bâtiment.
<i>CSV</i>	Valeurs séparées par des virgules	Comma-Separated Values	Format tabulaire texte simple pour échanger des données.
<i>DALY</i>	Années de vie ajustées sur l'incapacité	Disability-Adjusted Life Years	Métrique de dommages sur la santé humaine (endpoints).
<i>DCE</i>	Dossier de consultation des entreprises	Tender Documents	Ensemble des pièces transmises aux candidats pour un marché public.
<i>DED</i>	Données environnementales par défaut	—	Valeurs par défaut pénalisantes en l'absence de données spécifiques.
<i>DEP</i>	Déclaration environnementale de produit	Environmental Product Declaration (EPD)	Fiche d'impacts vérifiée selon EN 15804.
<i>DH</i>	Degrés-heures d'inconfort	—	Indicateur RE2020 lié au confort d'été (sur-chauffe).
<i>DHW</i>	Eau chaude sanitaire (ECS)	Domestic Hot Water	Eau chaude utilisée pour les usages sanitaires (douche, lavabos, etc.).

Conclusion

<i>DPGF</i>	Décomposition du Prix Global et Forfaitaire	—	Document de détail quantitatif/prix pour les marchés publics.
<i>DRD</i>	Distribution des écarts relatifs	Distribution of Relative Differences	Distribution statistique des écarts normalisés par indicateur.
<i>EC</i>	Économie circulaire	Circular Economy	Modèle visant à boucler les flux de matière et d'énergie, et à réduire les déchets.
<i>ECI</i>	Indicateur de circularité d'élément	Element Circularity Indicator	Indicateur de circularité appliqué à un élément de construction.
<i>EED</i>	Directive efficacité énergétique	Energy Efficiency Directive	Directive UE fixant des objectifs/mesures d'efficacité énergétique.
<i>EIR</i>	Exigences d'échange d'informations (BIM)	Exchange Information Requirements	Cahier des exigences d'information à fournir/échanger dans un projet BIM.
<i>EN 15804</i>	Norme européenne pour EPD produits	—	Règles « core PCR » pour les déclarations environnementales des produits de construction.
<i>EN 15978</i>	Norme européenne ACV bâtiment	—	Méthode d'évaluation de la performance environnementale au niveau bâtiment.
<i>EP</i>	Énergie primaire	Primary Energy	Énergie extraite directement des ressources sans transformation.
<i>EPBD</i>	Directive sur la performance énergétique des bâtiments	Energy Performance of Buildings Directive	Directive UE fixant les exigences de performance des bâtiments (incluant ACV).
<i>EPD</i>	Déclaration environnementale de produit	Environmental Product Declaration	Fiche d'impacts vérifiée selon EN 15804.
<i>EPE</i>	Évaluation de la performance environnementale	Environmental Performance Evaluation (ISO 14031)	Évaluation des performances environnementales d'une organisation/activité.
<i>FAQ</i>	Foire aux questions	Frequently Asked Questions	Liste de questions fréquemment posées et leurs réponses.
<i>FDES</i>	Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire	—	Déclaration environnementale pour produits de construction (France).
<i>FDIS</i>	Avant-projet final de norme internationale	Final Draft International Standard	Dernière étape de projet de norme ISO avant publication officielle.
<i>FDV</i>	Fin de vie	End of Life (EoL)	Phase couvrant démolition, gestion des déchets et bénéfices/charges au-delà.
<i>FEP</i>	Eutrophisation en eau douce	Freshwater Eutrophication Potential	Catégorie d'impact liée aux apports nutritifs en eau douce.
<i>FPMF</i>	Formation de particules fines	Fine Particulate Matter Formation	Catégorie d'impact liée aux poussières/PM2.5 équivalent.
<i>GES</i>	Gaz à effet de serre	Greenhouse Gases (GHG)	Gaz contribuant à l'effet de serre (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, etc.).

Conclusion

<i>GHG</i>	Greenhouse Gases	Greenhouse Gases	Gaz contribuant à l'effet de serre (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, etc.).
<i>GPP</i>	Achats publics verts	Green Public Procurement	Politique d'achats intégrant des critères environnementaux.
<i>GWP</i>	Potentiel de réchauffement global	Global Warming Potential	Indicateur de contribution au changement climatique (kg CO ₂ e).
<i>HCT</i>	Toxicité humaine cancérogène	Human Carcinogenic Toxicity (HTc)	Sous-catégorie de toxicité humaine liée aux effets cancérogènes.
<i>HH</i>	Santé humaine (domaine de dommage)	Human Health	Domaine de dommages aux endpoints (souvent exprimé en DALY).
<i>HQE</i>	Haute Qualité Environnementale	—	Référentiel/label français de management et performance environnementale.
<i>HQM</i>	Home Quality Mark	—	Label britannique d'évaluation de la qualité/durabilité des logements.
<i>HSM</i>	Heijungs Significance Metric	—	Métrique évaluant la probabilité qu'une alternative dépasse une autre d'au moins Δ.
<i>HTC</i>	Coefficient de transfert de chaleur	Heat Transfer Coefficient	Coefficient d'échange thermique surfacique (W/m ² K).
<i>IA</i>	Intelligence artificielle	Artificial Intelligence	Ensemble de techniques permettant à des systèmes d'effectuer des tâches cognitives.
<i>ICV</i>	Inventaire du cycle de vie	Life Cycle Inventory (LCI)	Phase de collecte/quantification des flux entrants/sortants du système.
<i>ID</i>	Identifiant	Identifier	Valeur unique attribuée à un objet, une ligne, un produit ou un enregistrement.
<i>IFC</i>	Industry Foundation Classes	—	Standard ouvert d'échange de données BIM (maquettes, quantités, propriétés).
<i>INIES</i>	Base INIES (FDES/PEP – France)	—	Base nationale française des FDES/PEP et données par défaut (RE2020).
<i>ISO</i>	Organisation internationale de normalisation	International Organization for Standardization	Organisme de normalisation (ex. ISO 14040/44 pour l'ACV).
<i>KPI</i>	Indicateur clé de performance	Key Performance Indicator	Mesure utilisée pour piloter et suivre des objectifs.
<i>LCA</i>	Analyse du cycle de vie	Life Cycle Assessment	Terme anglais pour ACV.
<i>LCC</i>	Coût du cycle de vie	Life Cycle Costing	Méthode d'évaluation économique du coût total sur le cycle de vie.
<i>LCI</i>	Inventaire du cycle de vie	Life Cycle Inventory	Phase de collecte/quantification des flux entrants/sortants du système.
<i>LCIA</i>	Évaluation des impacts du cycle de vie	Life Cycle Impact Assessment	Phase qui convertit les flux d'inventaire en catégories d'impact.

Conclusion

<i>LCSA</i>	Évaluation de durabilité sur le cycle de vie	Life Cycle Sustainability Assessment	Cadre intégrant LCA (environnement), LCC (économie) et S-LCA (social).
<i>LEED</i>	Leadership in Energy and Environmental Design	—	Système de certification environnementale des bâtiments (USGBC).
<i>LOD</i>	Niveau de développement/détail	Level of Development	Granularité des objets BIM conditionnant la précision des quantitatifs.
<i>MCI</i>	Indicateur de circularité matière	Material Circularity Indicator	Indicateur quantifiant la part de matière circulaire d'un produit.
<i>MEAT</i>	Offre économiquement la plus avantageuse	Most Economically Advantageous Tender	Critère d'attribution pondérant prix/qualité/impacts dans les marchés publics.
<i>MOA</i>	Maîtrise d'ouvrage	—	Porteur du besoin et décideur budgétaire du projet.
<i>MOE</i>	Maîtrise d'œuvre	—	Équipe de conception responsable de la solution technique/architecturale.
<i>MPI</i>	Indicateur de performance de management	Management Performance Indicator (ISO 14031)	Indicateur de pilotage au niveau management (ISO 14031).
<i>NDC</i>	Contribution déterminée au niveau national	Nationally Determined Contribution	Engagement climat national au titre de l'Accord de Paris.
<i>NECP</i>	Plan national énergie-climat	National Energy and Climate Plan	Plan national UE de trajectoire énergie/climat 2030.
<i>NPV</i>	Valeur actuelle nette (VAN)	Net Present Value	Indicateur financier actualisant flux futurs pour juger la rentabilité.
<i>NSP</i>	Non spécifié / non renseigné	Not specified	Valeur absente ou non renseignée dans un jeu de données.
<i>ODP</i>	Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone	Ozone Depletion Potential	Indicateur de contribution à la destruction de l'ozone stratosphérique.
<i>OEPA</i>	(Marchés publics – à préciser)	—	Terme relatif aux achats publics (procédure/autorité à confirmer selon contexte).
<i>ONG</i>	Organisation non gouvernementale	Non-Governmental Organization (NGO)	Organisation indépendante de l'État poursuivant une mission d'intérêt général.
<i>ONU</i>	Organisation des Nations unies	United Nations (UN)	Organisation internationale chargée du maintien de la paix et de la coopération.
<i>OPEX</i>	Dépenses d'exploitation	Operating Expenditure	Coûts sur la phase d'usage (énergie, maintenance, exploitation).
<i>OPI</i>	Indicateur de performance opérationnelle	Operational Performance Indicator (ISO 14031)	Indicateur de performance au niveau opérationnel (ISO 14031).

Conclusion

<i>OSB</i>	Panneau de lamelles minces orientées	Oriented Strand Board	Panneau structurel en copeaux orientés (bois).
<i>PCR</i>	Règles de catégorie de produit	Product Category Rules	Règles spécifiques régissant le contenu/calcul des EPD par catégorie.
<i>PEB</i>	Performance énergétique des bâtiments	Energy Performance of Buildings	Cadre/réglementation d'évaluation énergétique des bâtiments (Belgique).
<i>PED</i>	Demande d'énergie primaire	Primary Energy Demand	Indicateur d'énergie primaire d'un système/bâtiment.
<i>PEF</i>	Empreinte environnementale des produits	Product Environmental Footprint	Cadre UE d'évaluation environnementale des produits (PEF/OEF).
<i>PEP</i>	Profil Environnemental Produit (PEP ecopassport)	Product Environmental Profile	Déclaration environnementale pour équipements électriques/électroniques.
<i>PM</i>	Matières particulaires (formation)	Particulate Matter Formation (PMF)	Catégorie d'impact liée aux particules (PM10/PM2.5).
<i>PME</i>	Petite et moyenne entreprise	Small and Medium-sized Enterprise (SME)	Entreprise dont la taille est inférieure aux seuils PME européens.
<i>POCP</i>	Potentiel de formation d'ozone photochimique	Photochemical Ozone Creation Potential	Catégorie d'impact (smog) liée à la photo-oxydation.
<i>PRG</i>	Potentiel de réchauffement global	Global Warming Potential (GWP)	Quantité de GES émise, agrégée en équivalents CO ₂ .
<i>RACI</i>	Matrice des responsabilités (RACI)	Responsible-Accountable-Consulted-Informed	Outil d'affectation claire des rôles et responsabilités.
<i>RBCF</i>	Réglementation Bâtiments à Consommation Faible	—	Réglementation visant des bâtiments à faible consommation (à préciser).
<i>RE</i>	Réglementation environnementale	Environmental Regulation	Cadre réglementaire fixant exigences et indicateurs environnementaux.
<i>REX</i>	Retour d'expérience	Lessons Learned / Feedback	Capitalisation des enseignements tirés de projets antérieurs.
<i>RSE</i>	Responsabilité sociétale des entreprises	Corporate Social Responsibility (CSR)	Prise en compte des enjeux sociaux/environnementaux par l'entreprise.
<i>RT2012</i>	Réglementation thermique 2012	—	Ancienne réglementation thermique française (précédant RE2020).
<i>ReCiPe</i>	Méthode d'évaluation ReCiPe	—	Méthode midpoint/endpoints combinant CML et Eco-indicator.
<i>S-LCA</i>	Analyse du cycle de vie sociale	Social Life Cycle Assessment	Évaluation des impacts sociaux et socio-économiques sur le cycle de vie.
<i>SCI</i>	Indicateur de circularité de système	System Circularity Indicator	Indicateur de circularité appliqué à un système (ex. technique).

Conclusion

<i>SETAC</i>	Society of Environmental Toxicology and Chemistry	—	Association scientifique internationale à l'origine du cadre ACV moderne.
<i>SFDR</i>	Règlement sur la publication d'informations en matière de durabilité	Sustainable Finance Disclosure Regulation	Règlement UE renforçant la transparence et l'anti-greenwashing des produits financiers.
<i>SPP</i>	Achats publics durables	Sustainable Public Procurement	Approche d'achats intégrant critères environnementaux, sociaux et économiques.
<i>TCO</i>	Coût total de possession	Total Cost of Ownership	Évaluation de tous les coûts d'un actif sur son cycle de vie.
<i>TET</i>	Consommation totale d'énergie pour le transport	Total Energy Use for Transport	Énergie consommée par les transports liés au projet (matériaux/personnes).
<i>TPES</i>	Offre totale d'énergie primaire	Total Primary Energy Supply	Indicateur macro décrivant l'offre primaire totale d'un territoire.
<i>UA</i>	Coefficient global de transfert thermique ($U \times A$)	Overall Heat Transfer Coefficient ($U \times A$)	Capacité d'un ensemble à transmettre la chaleur (U multiplié par la surface A).
<i>UE</i>	Union européenne	European Union (EU)	Union politico-économique de 27 États membres dotée de politiques communes.
<i>UF</i>	Unité fonctionnelle	Functional Unit	Unité de service servant de base à la comparaison en ACV.
<i>UNEP</i>	Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE)	United Nations Environment Programme (UNEP)	Agence de l'ONU dédiée à l'environnement et au développement durable.
<i>VBA</i>	Visual Basic pour Applications	Visual Basic for Applications	Langage intégré à Microsoft Office pour automatiser des tâches (macros).
<i>VRD</i>	Voiries et Réseaux Divers	Roads and Utilities (External Works)	Travaux extérieurs : voiries, réseaux humides/secs et raccordements.
<i>WBCI</i>	Indicateurs de circularité à l'échelle du bâtiment	Whole Building Circularity Indicators	Ensemble d'indicateurs pour quantifier la circularité d'un bâtiment.
<i>WBCSD</i>	Conseil mondial des entreprises pour le développement durable	World Business Council for Sustainable Development	Organisation internationale d'entreprises engagées pour la durabilité.
<i>XML</i>	Langage de balisage extensible	eXtensible Markup Language	Format d'échange structuré pour les données.

Tableau 32. Abréviations (annexe)

Annexe 2. Les concepts de l'ACV importants

Conclusion

L'ACV s'articule avec le LCC qui évalue le coût total sur tout le cycle de vie (CAPEX, énergie/exploitation-maintenance, remplacements, financement, valeur résiduelle). L'LCSA combine ces dimensions (environnementale : ACV ; économique : LCC ; sociale : S-LCA) pour éclairer la décision en intégrant effets positifs et négatifs tout au long du cycle de vie (Larsen et al., 2022).

Puis il est intéressant de s'attarder sur les catégories d'impact : points de passage et points d'aboutissement. Les **midpoints** couvrent, entre autres, le changement climatique (GWP, kg CO₂e), l'appauvrissement de la couche d'ozone (ODP), l'acidification (TAP), l'eutrophisation (FEP/MEP), les toxicités humaine/écosystémique, etc. (Goedkoop et al., 2013). Les **endpoints** agrègent ces flux vers des dommages intégrés : « Dommages à la santé humaine (DALY) ; dommages à la diversité des écosystèmes; dommages à la disponibilité des ressources...» (Goedkoop et al., 2013). Cette structuration justifie d'articuler les indicateurs opérationnels avec des métriques de dommages. Les **données primaires** (spécifiques aux procédés étudiés, collectées pour l'étude) sont privilégiées pour la représentativité, tandis que les **données secondaires** (bases comme Ecoinvent, EPD, statistiques, littérature) complètent les inventaires. Dans les deux cas, une revue de qualité est nécessaire (représentativité géographique et temporelle, vérifications) (Mattinzioli et al., 2022). Cette progression permet d'aligner plus finement quantités, facteurs d'impact et hypothèses de renouvellement avec la maturité du projet. Dans le secteur de la construction, le **benchmarking** est défini comme le processus de collecte, d'analyse et de rapprochement de données de performance pour des bâtiments ou ouvrages comparables, en précisant une unité de référence déclarée pour permettre la comparaison (Lu et al., 2021). La norme ISO 21678:2020 recommande trois types de publications : valeur limite (plafond non souhaité), valeur de référence (pratique courante) et valeur cible (pratique idéale), avec la possibilité de cibles de court/long terme lorsque pertinent (International Organization for Standardization, 2020; Mattinzioli et al., 2022). Les benchmarks **bottom-up** agrègent statistiquement des déclarations climatiques réelles de projets, de sorte que la valeur-repère reflète la performance constatée et non un objectif politique ou une estimation d'expert. Dans les dispositifs réglementaires, la valeur limite peut établir qu'un bâtiment n'est pas autorisable/certifiable (Tozan et al., 2024).

<i>.Approche</i>	<i>Fondement</i>	<i>Application</i>	<i>Objectif principal</i>
Bottom-up	Données réelles de bâtiments	Calcul empirique de seuils	Représentativité, faisabilité
Top-down	Objectifs climatiques globaux	Déclinaison en seuils cibles	Alignement avec trajectoires de décarbonation

Tableau 33. Comparaison méthode top-down et bottom-up, (Säynäjoki et al., 2017)

Les travaux appliqués de confirment l'usage des notions « bottom-up benchmark », « limit values » et « system boundaries » (Jorge-Ortiz et al., 2025b). **Les frontières** précisent les modules du cycle de vie (A1–C4, et D le cas échéant) ainsi que les éléments du bâtiment pris en compte (Barjot & Malmqvist, 2024). Ce cadrage évite les comparaisons biaisées et garantit la traçabilité des hypothèses.

Annexe 3. Le tableau récapitulatif des phases de l'analyse de cycle de vie

<i>Tableaux récapitulatifs de phase de l'ACV</i>		
<i>La phase de production (Modules A1-A3)</i>	A1	Extraction et transformation des matières premières

<i>La phase de construction (Modules A4-A5)</i>	A2	Transport vers le site de fabrication
	A3	Fabrication des produits de construction « Acquisition des matières premières et transformation en produit manufacturé (+ transport) » (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024)
	A4	Transport des produits de construction vers le chantier
	A5	Mise en œuvre, installation, pertes chantier
		« Processus de construction et d'installation des matériaux et produits finis, chantier de construction (+ transport) » (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024)
<i>La phase d'utilisation (Modules B1-B7)</i>	B1	Emissions directes pendant l'usage
	B2	Entretien
	B3	Réparation
	B4	Remplacement
	B5	Rénovation
	B6	Consommation énergie
	B7	Consommation eau
<i>La phase de fin de vie (Modules C1-C4)</i>		« Utilisation, maintenance, réparation, remplacement des matériaux et produits finis, consommation d'énergie et d'eau pendant l'utilisation du bâtiment » (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024)
	C1	Déconstruction / Démolition
	C2	Transport des déchets
	C3	Traitement des déchets en vue du recyclage
	C4	Mise en décharge / incinération
<i>La phase au-dessus du cycle de vie (Module D)</i>		« Traitement et élimination des matériaux et produits finis (+ transport) » (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024)
	D	Recyclage, réemploi, valorisation énergétique (crédit environnemental attribué)
		« Bénéfices et charges au-delà du cycle de vie, potentiel de réutilisation, récupération et recyclage » (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024)

Tableau 34. Récapitulatif des phases de l'ACV et de ses modules, source: Guide de la RE2020, (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024) (annexe)

Annexe 4. Le questionnaire

Numéro de question	Texte de la question	Type de question	Catégorie
Q1	Age	Choix unique (tranche d'âge)	
Q2	Sexe	Choix unique	
Q3	Profession	Réponse ouverte (texte)	

Q4	Secteur d'activité	Choix unique
Q5	Type d'entreprise	Choix unique
Q6	Années d'expérience dans le secteur immobilier/ construction	Choix unique (tranche d'années)
Q7	Votre entreprise aujourd'hui	Choix multiple (case à cocher)
Q8	Avez vous déjà réalisé/ participé ou demandé une ACV?	Oui / Non
Q9	Est-ce que votre entreprise collabore avec des organismes spécialisés en ACV?	Oui / Non
Q10	Estimez le niveau d'avancement de votre entreprise sur ce sujet	Échelle de Likert (1 à 5)
Q11	Citez trois mots qui vous évoquent l'Analyse de Cycle de Vie	Réponse ouverte (3 mots)
Q12	Estimez votre intérêt pour les initiatives environnementales dans votre vie personnelle	Échelle de Likert (1 à 5)
Q13	Estimez votre intérêt pour les initiatives environnementales dans votre vie professionnelle	Échelle de Likert (1 à 5)
Q14	Etes vous familier avec l'ACV?	Oui / Non
Q15	Évaluez l'intérêt d'appliquer l'ACV dans le secteur de la construction	Échelle de Likert (1 à 5)
Q16	Estimez votre niveau de connaissance sur les objectifs et les cas d'application de l'ACV	Échelle de Likert (1 à 5)
Q17	Estimez votre niveau de connaissance sur la mise en place et les étapes de réalisation de l'ACV	Échelle de Likert (1 à 5)
Q18	Estimez votre niveau de connaissance concernant les outils utilisés pour réaliser une ACV	Échelle de Likert (1 à 5)

Q19	Evaluez le lien entre l'ACV et l'économie circulaire dans la construction	Échelle de Likert (1 à 5)
Q20	Considérez-vous que votre service devrait être en charge des ACV ?	Choix multiple
Q21	Avez-vous connaissance de la qualité et de la quantité nécessaire de données pour réaliser une ACV?	Oui / Non
Q22	Estimez-vous qu'il faille renforcer le niveau de réglementation environnementale dans votre pays?	Oui / Non / NSP
Q23	Evaluez votre niveau de connaissance sur les réglementations environnementales en vigueur dans votre pays	Échelle de Likert (1 à 5)
Q24	Estimez l'impact de la réglementation pour soutenir les démarches ACV dans votre pays (ex: RE2020 en France)?	Échelle de Likert (1 à 5)
Q25	Estimez vous que l'ACV devrait s'étendre à tous les domaines de la construction, tel que la rénovation ou les bâtiments d'activités/logistiques?	Oui / Non / NSP
Q26	Seriez-vous intéressé(e) à réaliser des Analyses de Cycle de Vie dans le futur?	Oui / Non / NSP
Q27	Pensez-vous que l'ACV doit être réalisée en interne?	Oui / Non
Q28	Evaluez l'impact de l'ACV sur votre mode de travail et votre rôle en interne	Échelle de Likert (1 à 5)

Q29	Evaluez l'impact de l'ACV sur les relations avec vos collègues et vos fournisseurs	Échelle de Likert (1 à 5)
Q30	Evaluez comment l'ACV peut modifier les choix constructifs traditionnels	Échelle de Likert (1 à 5)
Q31	Evaluez le niveau de formation nécessaire afin de réaliser une ACV	Échelle de Likert (1 à 5)
Q32	Selon vous, l'ACV est-elle une opportunité d'optimiser vos projet et de faire évoluer vos process?	Oui / Non
Q33	Selon vous, l'ACV est-elle une opportunité d'optimiser vos projets et de faire évoluer vos process? L'idéal serait d'illustrer votre propos avec un cas concret ;)	Réponse ouverte (texte long)
Q34	Je vous remercie sincèrement d'avoir pris le temps de répondre à ce questionnaire pour mon travail de fin d'étude.	Texte libre (remarque de fin)
Q35	Souhaitez-vous recevoir mon mémoire de fin d'étude?	Oui / Non

Annexe 5. Les résultats du questionnaire

Répartition par pays (brut)

Pays	Nombre de répondants
France	34
Belgique	8
Québec	1

Répartition par profession (brut)

Profession	Nombre de répondants
Architecte	10
Ingénieur du bâtiment	9

Conclusion

Directeur des investissements	2
Economiste de la construction	2
Etudiant	2
Coordinateur AQ, EC&RSE	1
Directeur général	1
Commercial	1
Investissement immobilier	1
Customer Success Manager	1
Administrateur Delege	1
Je ne pratique plus, mais je répondrais à la suite comme ancien architecte.	1
Urbaniste	1
Directrice de Projets	1
Maitre d'Ouvrage	1
Dirigeant	1
Entrepreneur	1
Chef d'entreprise	1
Ingénieure architecte	1
Responsable des Appels d'Offres	1
développeur foncier	1
Chargé de projet en maîtrise d'ouvrage	1
Product & Operations Manager - Logiciel Nooco	1

Répartition par type d'entreprise (brut)

Type d'entreprise	Nombre de répondants
bureau étude / cabinet d'architecture	17
entreprise de construction	5
société de gestion	3
promoteur immobilier	3
auto - entrepreneur / indépendant	3
maîtrise œuvre	1
société d'économie mixte	1
promoteur	1
université	1
foncière	1
société de gestion de portefeuille	1
avec bureau d'étude	1
promoteur/constructeur	1
logiciel d'analyse d'émissions carbone dans le bâtiment	1
logiciel	1
foncière solidaire et promoteur engagé	1
logiciel acv	1

Répartition par années d'expérience (brut)

Années d'expérience	Nombre de répondants
Plus de 10 ans	20
2 à 5 ans	10
Moins de 2 ans	7

Conclusion

6 à 10 ans	6
------------	---

Répartition par secteur d'activité (brut)

Secteur d'activité	Nombre de répondants
construction commerciale / tertiaire	8
promotion immobilière	7
rénovation / réhabilitation	6
construction résidentielle	2
construction commercial / tertiaire	1
multi secteurs	1
immobilier commercial	1
analyse d'émissions carbone dans le bâtiment	1
résidentiel / commercial / tertiaire (neuf + rénovation)	1
construction modulaire hors site	1
construction + rénovation résidentielle et tertiaire	1
urbanisme et numérique responsable	1
travaux public	1
investisseur et développeur	1
construction modulaire hors-site	1
promotion/gestion immobilière	1
étudiant	1
tout sauf génie civil/infrastructure	1
ferroviaire + vrd	1
restauration	1
construction de logements et équipements publics (écoles, crèches, collèges, lycées etc)	1
construction neuve et réhabilitation de logements collectifs	1
étudiant en architecture	1
tous	1

L'ACV en 3 mots

Mot	Fréquence
impact	13
durabilité	10
environnement	8
carbone	8
durée	3
de	3
un	3
pour	3
énergie	2
transparence	2
réemploi	2
environnemental	2
conscience	2

Conclusion

résilience	2
circularité	2
recyclage	2
outil	2
traçabilité	2
matériaux	2
levier	1
impacts	1
long	1
anticipation	1
biosourcé	1
engineering	1
reverse	1
externalités	1
environnementaux	1
court	1
écologie	1
circuit	1
et	1
sobriété	1
écoconception	1
bas	1
économie	1
vertueux	1
terme	1
éco	1
réel	1
production	1
l	1
arbitrer	1
mesurer	1
en	1
deconstruction	1
exploitation	1
fabrication	1
comptabilité	1
standard	1
construire	1
fastidieux	1
mesure	1
holistique	1
autrement	1
multicritère	1
arbitrage	1
coception	1
clairvoyance	1
fonctionnelle	1
système	1
frontière	1

Conclusion

valorisation	1
utilisation	1
transport	1
économies	1
bilan	1
conscientiser	1
communiquer	1
orienter	1
objectiver	1
enveloppe	1
reemplois	1
geosourcée	1
bio	1
gestion	1
planète	1
consommation	1
évolution	1
environnement	1
conception	1
construction	1
démolition	1
inventaire	1
re2020	1
dvr	1
référence	1
vie	1
uf	1
unité	1
produit	1
développement	1
capex	1
fdes	1
évaluation	1
comparaison	1
maintenance	1
grise	1
donné	1
analyse	1
calcul	1
empreinte	1
avenir	1
ressources	1

Les réponses dans la catégorie autre du questionnaire

Réponse brute	Nombre de répondants
Ingénieure architecte	1

Conclusion

Entrepreneur	1
Directrice de Projets	1
Je ne pratique plus, mais je répondrais à la suite comme ancien architecte.	1
Administrateur Délégué	1
Directeur général	1

Résultats questionnaire, profession catégorie autre

Réponse brute		Nombre de répondants
construction neuve et réhabilitation de logements collectifs		1
construction de logements et équipements publics (écoles, crèches, collèges, lycées etc)		1
restauration		1
investisseur et développeur		1
résidentiel / commercial / tertiaire (neuf + rénovation)		1
analyse d'émissions carbone dans le bâtiment		1

Résultats questionnaire, secteurs d'activité (autre)

Réponse texte brute	Nombre de répondants
université	1
société d'économie mixte	1
foncière	1
société de gestion de portefeuille	1
avec bureau d'étude	1
promoteur/constructeur	1
logiciel d'analyse d'émissions carbone dans le bâtiment	1
logiciel	1
foncière solidaire et promoteur engagé	1
logiciel acv	1

Résultats questionnaire, type d'entreprise (autre)

Réponse texte brute	Nombre de répondants
est concerné par les acv dans le cadre de la stratégie d'investissement	1
ne sait pas	1

Conclusion

pas en entreprise	1
fait réaliser des acv par les be	1
utilise des acv	1
demande une acv quand position moa sur des projets de développements.	1
selon les réglementations et les obligations	1
nous avons réalisé une acvs base de donnée inies	1
début de démarche acv pour les espaces réalisés	1
aide les entreprises du bâtiment à réaliser leurs acv le plus efficacement possible	1
propose un logiciel permettant de réaliser des acv projets	1
transitionne vers l'internalisation des acv	1

Résultats questionnaire, ACV et votre entreprise (autre)

Annexe 6. Questions entretien

Personnes réalisant des ACV

N°	Question
1	Pouvez-vous vous présenter et expliquer votre métier, vos études, votre entreprise ?
2	Quel est votre niveau d'implication dans les ACV ?
3	Combien de personnes sont impliquées dans une ACV dans votre entreprise ?
4	Quels sont les documents centraux dans votre travail ACV ?
5	Quelles ont été les étapes de mise en place de l'ACV dans l'entreprise ?
6	Quels sont les freins rencontrés ?
7	À quelle phase du projet l'ACV est-elle intégrée ?
8	Quel est le point qui vous fait perdre le plus de temps ?
9	Comment améliorer les pratiques et outils ACV ?
10	Avez-vous constaté des évolutions dans la pratique de l'ACV ?
11	Comment gérez-vous les données ?

ACV organisme

N°	Question
1	Pouvez-vous vous présenter et expliquer votre métier, vos études, votre entreprise ?
2	Depuis combien de temps faites-vous de l'ACV ?
3	Comment évolue le marché de l'ACV selon vous ?
4	Avec quel type de clients travaillez-vous ?
5	Quelles sont les limites rencontrées ?

Conclusion

6	Quel est le niveau d'information des clients ?
7	L'ACV est-elle un argument de vente ?
8	Faites-vous des choix méthodologiques internes ?
9	Les exigences sont-elles compatibles avec la réalité des entreprises ?
10	Le poids des hypothèses est-il important ?
11	Qu'en est-il du rôle des fournisseurs ?
12	Les entreprises modifient-elles leurs pratiques grâce aux ACV demandées ?

ACV et commerciaux

N°	Question
1	Quel est votre rôle ?
2	Quel type de projet suivez-vous ?
3	À quoi sert une ACV selon vous ?
4	L'ACV est-elle un atout de vente ?
5	Quels arguments utilisez-vous face au client ?
6	Quels critères sont décisifs dans une offre avec ACV ?

ACV et archi

N°	Question
1	Quel est votre métier et votre rôle dans le projet ?
2	Quel type de projet suivez-vous ?
3	L'ACV a-t-elle changé votre façon de travailler ?
4	Avez-vous appris de nouveaux outils ?
5	Cherchez-vous à maîtriser davantage certaines données ?
6	L'ACV pousse-t-elle à passer à la 3D ?
7	Qu'est-ce qui vous freine le plus dans un projet concours ?
8	Quel aspect vous fait perdre le plus de temps ?

ACV et pôle achat tradi

N°	Question
1	Quel est votre rôle ?
2	Quel type de projet gérez-vous ?
3	Avez-vous constaté un changement dans les produits achetés ?
4	Cherchez-vous des produits avec impact réduit ?
5	L'ACV pousse-t-elle à changer de méthode d'achat ?
6	Y a-t-il plus de demandes de traçabilité ?
7	Les scores environnementaux sont-ils visibles ?

Annexe 7. Arbre thématique détaillé de l'analyse thématique des entretiens semi-dirigés

Voici l'arbre thématique détaillé avec, pour chaque thème, les sous-thèmes (N2) et les codes opérationnels (N3) utilisés.

1) Intégration ACV très tôt (esquisse/faisabilité)

Pré-ACV de cadrage → codes : *Cadrage carbone initial* ; *Seuils/ambitions cibles* ; *Macro-quantitatifs matériaux* ; *Screening des hotspots*.

Gouvernance des décisions amont → *Budget carbone amont* ; *Jalons GO/NO-GO carbone* ; *Charte carbone projet* ; *Sponsor MOA*.

Conclusion

Gestion des irréversibilités → *Verrouillage structurel ; Contraintes foncières ; Risques techniques ; Boucles d'itération courtes.*

2) Réglementation : déclencheur incomplet & différenciation

Cadres réglementaires/labels → *Conformité RE/labels ; Indicateurs normés ; Marchés publics ; Émergences locales.*

Périmètres non-couverts → *Industriel/logistique ; Rénovation/extension ; Infrastructures/VRD.*

Différenciation marché → *Argumentaire concours ; Positionnement produit ; Due diligence carbone.*

3) Culture & gouvernance de la donnée

Accès aux données → *FDES spécifiques ; Données génériques (usage raisonné) ; Données fournisseur.*

Qualité/actualisation → *Versioning des bases ; Pédigrée des données ; Contrôles qualité.*

Mapping BIM↔bases → *Nomenclature commune ; Règles d'appariement ; Granularité pertinente (macro vs composant).*

Traçabilité & audit → *Identifiants uniques ; Journal d'analyse (audit trail) ; Archivage reproductible.*

4) Contraintes temps/budget & arbitrages

Pression délais → *Calendrier compressé ; Chemins critiques.*

Pression coûts → *Surcoût options bas carbone ; OPEX & coûts d'usage ; Contrainte marge.*

Arbitrages outillés → *Paquets d'options ; Indicateurs de décision ; Assomption de risque (RACI).*

5) Organisation transversale & conduite du changement

Rôles & responsabilités → *Référents ACV ; Sponsorship direction ; RACI ACV.*

Processus & instances → *Comités carbone ; Workflow documenté ; REX inter-projets.*

Capitalisation & outils internes → *Bibliothèques validées ; Templates & gabarits ; KPIs portefeuille.*

6) Chaîne outil BIM→ACV

Extraction des quantitatifs → *Exports Revit/IFC ; Nettoyage des objets ; Unités cohérentes.*

Appariement datasets → *Macro-composants ; Règles de substitution ; Vérif de cohérence (ratios).*

Outils d'ACV → *One Click/TOTEM ; Plateformes métier ; Interopérabilité (formats standards).*

7) Pré-ACV décisionnelle

Foncier & implantation → *Scénarios d'implantation ; Contexte réseau/mobilité.*

Variante de conception → *Structure bas carbone ; Enveloppe optimisée ; Systèmes techniques.*

Compétitivité offres → *Valeur différenciante (KPIs phares) ; Dataroom pré-ACV (livrables clairs).*

8) Modèles d'organisation de la réalisation ACV

Interne (équipe dédiée) → *Spécialistes ACV ; Outillage expert.*

Modèle hybride → *Contributeurs non experts outillés ; Escalade vers experts.*

Externalisation ciblée → *Pics de charge ; Audits/tiers (vérif indépendante).*

9) Formation & montée en compétence

Conclusion

Socle commun → *Fondamentaux ACV ; Lexique partagé.*

Coaching expert → *Cas complexes (dynamique/sensibilité) ; Revues régulières (QA).*

Sensibilisation métiers → *Achats/économie (sourcing & chiffrage) ; Travaux/maintenance (REX terrain).*

10) Positionnement & communication

Indicateurs parlants → *Ordres de grandeur ; KPIs comparatifs (baseline).*

Labels & preuves → *Traçabilité des livrables ; Reconnaissance externe (labels/certifs).*

Narratif client/investisseur → *Storyline carbone (avant/après) ; Bénéfices décisionnels (risque/valeur).*

11) Réemploi & circularité

Opportunités réemploi → *Lots éligibles ; Cartographie ressources (gisements).*

Obstacles & assurances → *Garanties/assurance ; Logistique & traçabilité.*

ACV du réemploi → *Frontières de système & allocations ; Incertitudes (sensibilités).*

12) Au-delà du seul « bilan carbone projet »

Coût global → *CAPEX⇔OPEX (TCO) ; Coût d'entretien/remplacements.*

ACV dynamique → *Profils temporels d'émissions ; Remplacements (durées de vie).*

Temps de retour carbone → *KPI retour carbone (années) ; Comparaison scénarios A/B/C.*

13) Productivité & automatisation

IA d'appariement → *Reconnaissance libellés ; Suggestions de mapping (validation).*

Workflows outillés → *Exports normalisés (scripts) ; Intégration outillage (connecteurs).*

Contrôles qualité automatiques → *Tests de plausibilité (seuils) ; Journalisation auto (logs).*

14) Effets typologiques

Standardisation activité → *Systèmes répétitifs ; Unités fonctionnelles adaptées.*

Demande explicite par marché → *Appels d'offres ACV (variabilité) ; Sensibilité prix de sortie.*

Benchmarks par typologie → *Référentiels internes ACV ; Guides de conception (playbooks).*

15) Alignement multi-échelles & reporting

Agrégation portefeuille → *Consolidation projets → corporate ; Harmonisation des hypothèses.*

CSRD/Taxonomie/SFDR → *Exigences de divulgation ; Traçabilité des preuves (auditabilité).*

Gouvernance des hypothèses → *Gestion des versions ; Règles de déviation (dérogations).*

Pour lire et appliquer le codebook (règles rapides)

- Unité de codage : segment sémantique (phrase/énoncé) exprimant une idée autonome.
- Inclusion : coder un segment au niveau le plus fin (N3) ; remonter à N2/N1 pour les synthèses.
- Exclusion : éviter le double-codage redondant au même niveau ; préférer le code qui porte l'intention.
- Ambiguïtés : si un segment couvre outil et gouvernance, prioriser le but.
- Traçabilité : noter, pour chaque occurrence, l'identifiant (Personne n°), la ligne/page du verbatim.

Annexe 8. Les principaux indicateurs environnementaux

Global Warming Potential (GWP)	
« Le Potentiel de Réchauffement Global (PRG) exprime les impacts cumulatifs de forçage radiatif de tous les gaz à effet de serre. » (Bragadin et al., 2023)	
Définition	Quantité de gaz à effet de serre émise pendant le cycle de vie d'un produit ou bâtiment, ramenée à un équivalent CO ₂
Impact représenté	Changement climatique
Unité	kg CO ₂ éq
Ozone Depletion Potential (ODP)	
« L'ODP est exprimé en kilogrammes équivalents de CFC-11. » (Bragadin et al., 2023)	
Définition	Mesure la contribution des substances à la destruction de la couche d'ozone
Impact représenté	Appauvrissement de l'ozone stratosphérique
Unité	kg CFC-11 équivalent
Acidification Potential (AP)	
« Le potentiel d'eutrophisation prend en compte les nutriments conduisant à une prolifération excessive d'algues. » (Bragadin et al., 2023)	
Définition	Évalue le potentiel des émissions (SO ₂ , NO _x , NH ₃) à acidifier les milieux naturels
Impact représenté	Acidification des sols, des eaux, corrosion
Unité	kg SO ₂ équivalent
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	
« Le POCP évalue le potentiel de production de smog photochimique. » (Bragadin et al., 2023)	
Définition	Potentiel de formation d'ozone troposphérique à partir de COV et NO _x sous effet du rayonnement solaire
Impact représenté	Smog, pollution de l'air, santé
Unité	kg éthylène équivalent (kg C ₂ H ₄ éq)
Primary Energy Demand (PED / TPES)	
« La demande d'énergie primaire indique la quantité d'énergie brute utilisée. » (Bragadin et al., 2023)	
Définition	Énergie extraite directement des ressources naturelles (fossile ou renouvelable), sans transformation
Impact représenté	Consommation de ressources naturelles
Unité	MJ (mégajoules)
Human Toxicity Potential (HTP)	
« Le potentiel de toxicité humaine exprime les impacts potentiels sur la santé humaine. » (Khadim et al., 2025)	
Définition	Mesure les impacts potentiels sur la santé humaine en cas d'exposition à des substances toxiques
Impact représenté	Santé humaine, risques sanitaires
Unité	kg 1,4-dichlorobenzène équivalent (kg 1,4-DCBéq)
Freshwater Ecotoxicity Potential (FEP)	
« L'écotoxicité en eau douce reflète l'impact des substances toxiques sur la vie aquatique. » (Khadim et al., 2025)	
Définition	Évalue l'impact des substances toxiques sur les organismes vivant en eau douce
Impact représenté	Biodiversité aquatique, pollution des écosystèmes
Unité	kg 1,4-DCBéq
Déchets générés (Waste categories)	

« Les indicateurs de déchets (dangereux, non dangereux, radioactifs) font partie des 36 indicateurs RE2020. » (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024)	
Définition	Masse de déchets produits tout au long du cycle de vie (dangereux, non dangereux, radioactifs)
Impact représenté	Gestion des déchets, pollution, saturation des filières
Unité	kg

Tableau 35. Les principaux indicateurs environnementaux(Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024) (annexe)

Annexe 9. Revue des études d’analyse de cycle de vie

Référence	Pay s	Typ e de bâti me nt	Éta pe s du cyc le de vie (EN 15 80 4/E N 15 97 8)	Sour ces ICV	A C C (u ni té)	ACV (cat égor ies d’im pact)	Algor ithm e	Comp osants du bâtime nt	Données d’entrée	Sortie s/rés ultats
Apostolopoulos, V., Mamounakis, I., Seitaridis, A., Tagkoulis, N., Kourkoumpas, D.S., Iliadis, P., Angelakoglou, K., Nikolopoulos, N. (2023). An integrated life cycle assessment and life cycle costing approach towards sustainable building renovation via a dynamic online tool. Applied Energy, 334, 120710. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120710 .	Grè ce	Rés ide ntie l (col lect if)	A1– A3, A4– A5, B1– B7	Euro stat, PVGi s	✓ (€)	GWP , CED	Mode lica	Compo sants passifs (murs, fenêtre s); compo sants actifs (panne aux PV, chaudi ères, pompe s à chaleur)	Détails du projet, zone climatique, caractéristiques du bâtiment, facteurs financiers, usage du sol, durée de vie, éléments du bâtiment, équipements électriques, consommation d’énergie	Indica teurs clés (KPI), graphi ques en barres
Arbulu, M., Oregi, X., Etxepare, L. (2023). Environmental and economic optimization and prioritization tool-kit for residential building renovation	Esp agn e	Rés ide ntie l (col lect if)	A1– A3, B4, B6	Ecoi nven t	✓	GWP , NRP E	Pytho n	Façade	Période de référence, données de scénarios, quantités de matériaux, surface de chauffage des procédés, taux d’inflation, exploitation du chauffage	Graph iques

Conclusion

strategies with life cycle approach. Building and Environment, 228, 109813. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109813 .										
Gillott, C., Mikhelson, W., Lanau, M., Cheshire, D., Densley Tingley, D. (2023). Developing REGENERATE: a circular economy engagement tool for the assessment of new and existing buildings. Journal of Industrial Ecology, 1–13. https://doi.org/10.1111/jiec.13377 .	Royaume-Uni	Tous types de bâtiments	C1 – C4, D					Infrastructure, toiture, murs, fenêtres et portes	Principes de circularité, éléments du bâtiment, indicateurs	Graphiques et tableaux
Feng, H., Zhao, J., Hollberg, A., Habert, G. (2023). Where to focus? Developing a LCA impact category selection tool for manufacturers of building materials. Journal of Cleaner Production, 405, 136936. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136936 .	États-Unis	Résidentiel	A1–A3			GWP, OFH, FPM, OFTE, TA, TET, IR, HCT, LU, WU, FPM, F	Équations mathématiques		Type de bâtiment, matériaux	Graphiques
Hassan, S.R., Megahed, N.A., Abo Eleinen, O.M., Hassan, A.M. (2022). Toward a national life cycle assessment tool: generative design for early decision support. Energy and Buildings, 267, 112144. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112144 .	Égypte	Résidentiel	A1–A3, B4	Ecoinvent, IPCC 2013		GWP, qualité des écosystèmes, HH	C#	Murs extérieurs	Détails du projet, zone climatique, orientation, surface extérieure, finition extérieure, épaisseur, valeur R, matériaux, facteur d'impact	Graphiques
Famiglietti, J., Toosi, H.A., Dénarié, A., Motta, M. (2022). Developing a new	Italie	Résidentiel (éc	B6	Ecoinvent, Environm	✓ (€)	GWP, ODP, IR, POF,	Python	Composants actifs (panneaux PV,	Localisation, consommation d'énergie	Graphiques et tableaux

Conclusion

data-driven LCA tool at the urban scale: the case of the energy performance of the building sector. Energy Conversion and Management, 256, 115389. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115389 .		hell e urb ain e)		ental Foot print , CEN ED		PM, HTN C, HTC, AP, EF, EM, ET, LU, CC, WU, NRP E		chaudi ères, pompe s à chaleur)		
Mouton, L., Trigaux, D., Allacker, K., Crawford, R.H. (2022). Development of environmental benchmarks for the Belgian residential building stock. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1078. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012077 .	Bel giq ue	Rés ide ntie l	B1, B3, B5, B7, D			GWP		Planch ers, murs extérie urs, cloison s, portes	Type de bâtiment, éléments du bâtiment, matériaux	Graph iques en barres
Säwén, T., Magnusson, E., Sasic Kalagasidis, A., Hollberg, A. (2022). Tool characterisation framework for parametric building LCA. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1078. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012090 .	Suè de	Tou s typ es de bâti me nts	A1– A3, A4– A5, B1– B7, C1 – C4, D			GWP			Type de bâtiment, éléments du bâtiment, matériaux	Graph iques en barres
Kanafani, K., Zimmermann, R.K., Rasmussen, F.N., Birgisdóttir, H. (2021). Learnings from developing a context-specific LCA tool for buildings—the case of LCAbyg 4. Sustainability, 13, 1–23. https://doi.org/10.3390/su13010001 .	Dan em ark	Tou s typ es de bâti me nts	A1– A3, B4, B6, C3 – C4	Öko bau. dat, EPD, BUIL D	✓ (€)	GWP , ODP, AP, EP, POC P, APD E, ADP F, NRP E	BIM, fichie rs XML	Fondati ons, poteau x, service s/techn iques, toiture en pente, escalie rs, balcon s	Type de bâtiment, quantités de matériaux, surface brute, surface chauffée brute, énergie d'exploitation, durée de vie (années), hauteur d'étage, sous- sols, étages hors sol, gaines techniques	Graph iques et tablea ux

Conclusion

3390/su13031508										
Llatas, C., Bizcocho, N., Soust-Verdaguer, B., Montes, M.V., Quiñones, R. (2021). An LCA-based model for assessing prevention versus non-prevention of construction waste in buildings. Waste Management, 126, 608–622. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.03.047 .	Espagne	Résidentiel (écologie urbaine)	C1 – C4	Entreprises impliquées, bases publiques		GWP, AP, EP, ODP, HTP, POC, EP		Structure, façade, toiture	Localisation, type de bâtiment, entreprise de construction, maître d'ouvrage, surface brute, éléments du bâtiment	Graphiques
Song, Y., Zhang, H., Mo, H. (2021). A LCA-based Optimization Method of Green Ecological Building Envelopes: a Case Study in China. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 696. https://doi.org/10.1088/1755-1315/696/1/012023 .	Chine	Résidentiel	B6	Ecoinvent		CED	C#	Murs extérieurs	Zone climatique, matériaux, consommation d'énergie	Graphiques en barres
Tecchio, P., Gregory, J., Olivetti, E., Ghattas, R., Kirchain, R. (2019). Streamlining the life cycle assessment of buildings by structured under-specification and probabilistic triage. Journal of Industrial Ecology, 23, 268–279. https://doi.org/10.1111/jiec.12731 .	États-Unis	Résidentiel (individuel et collectif)	A1–A3, A4–A5, B1–B7, C1 – C4, D	Ecoinvent, USL, Athena, GaBi		GWP, AP, EP, ODP	Équations mathématiques	Murs extérieurs	Localisation, zone climatique, type de bâtiment, nomenclature (BoM), surface nette, isolation thermique	Graphiques
Kumanayake, R., Luo, H. (2018). A tool for assessing life cycle CO2 emissions of buildings in Sri	Sri Lanka	Tous types de bâti	A1–A3, A4–A5, B3, B4,	Entreprises impliquées		GWP	Équations mathématiques	Structure, planchers	Détails du projet, localisation, type de bâtiment, durée de vie (années), éléments du bâtiment, quantités de matériaux, activités de	Graphiques

Conclusion

Lanka. Building and Environment, 128, 272–286. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.042 .		ments	B6, C1 – C4						chantier (machines), consommation d'énergie, quantités de démolition	
Rodrigues, C., Kirchain, R., Freire, F., Gregory, J. (2018). Streamlined environmental and cost life-cycle approach for building thermal retrofits: a case of residential buildings in South European climates. Journal of Cleaner Production, 172, 2625–2635. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.148 .	Portugal	Résidentiel	A5, B6, B4, C1 – C4	Ecoinvent	✓	CED, NRP E, GWP, ODP, AP, EP	BAIA	Toiture, murs extérieurs, fenêtres	Localisation, type de bâtiment, éléments du bâtiment, matériaux, surface brute, entreprise de construction	Graphiques en barres
Solís-Guzmán, J., Rivero-Camacho, C., Alba-Rodríguez, D., Martínez-Rocamora, A. (2018). Carbon footprint estimation tool for residential buildings for non-specialized users: OERCO2 project. Sustainability, 10. https://doi.org/10.3390/su10051359 .	Espagne	Résidentiel	A1–A3, A4–A5	Ecoinvent, EPD		GWP	Équations mathématiques	Façade, bardage, toiture, cloisons, équipements, isolation, finitions, menuiseries, fenêtres	Éléments du bâtiment, type de bâtiment, quantités de matériaux, équipements	Graphiques en barres
Hester, J., Gregory, J., Ulm, F.J., Kirchain, R. (2018). Building design-space exploration through quasi-optimization of life cycle impacts and costs. Building and Environment, 144, 34–44. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.08.003 .	États-Unis	Résidentiel	A1–A3, A4–A5, B4, B6, C1 – C4	Ecoinvent, USL CI, Athena, GaBi	✓	GWP	BAIA	Toiture, murs extérieurs, fenêtres, cloisons, portes, plancher, plafond, fondations	Détails du projet, géométrie du bâtiment, éléments du bâtiment, attributs des matériaux, facteurs financiers, consommation d'énergie, occupants, équipements	Boîtes à moustaches
Trigaix, D., Oosterbosch, B., De Troyer, F., Allacker, K.	Belgique	Quartiers résidentiels	A1–A3, A4–A5,	Ecoinvent	✓	Indicateurs		Murs extérieurs, planch	Détails du projet, frontière thermique, type de bâtiment, facteurs financiers,	Graphiques en barres

Conclusion

(2017). A design tool to assess the heating energy demand and the associated financial and environmental impact in neighbourhoods. Energy and Buildings, 152, 516–523. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.057 .		den tiels	B1– B7, C1 – C4			MM G		er intérieu r, toiture plate, fenêtre s	apports solaires, demande d'énergie de chauffage	
Peng, C. (2016). Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling. Journal of Cleaner Production, 112, 453–465. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.078 .	Chi ne	Tou s typ es de bâti me nts	A4– A5, B1– B7, C1 – C4	EPD		GWP	Équa tions math émati ques	Tous les élémen ts du bâtime nt	Pays, géométrie du bâtiment, consommation d'énergie	Graph iques
Li, D., Cui, P., Lu, Y. (2016). Development of an automated estimator of life-cycle carbon emissions for residential buildings: a case study in Nanjing, China. Habitat International, 57, 154–163. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.07.003 .	Chi ne	Rés ide ntie l	A1– A3, A4– A5, B6			GWP , CED	Modè le E- R, MFC	Compo sants passifs (murs, fenêtre s); compo sants actifs (panne aux PV, chaudi ères, pompe s à chaleur)	Détails du projet, type de bâtiment, durée de vie (années), quantités de matériaux, énergie, facteurs relatifs aux véhicules de transport, machines et équipements	Graph iques et tablea ux
Kim, C.J., Kim, J., Hong, T., Koo, C., Jeong, K., Park, H.S. (2015). A program-level management system for the life cycle environmental and economic assessment of complex building projects. Environmental Impact Assessment	Rép ubli que de Cor ée	Proj ets co mpl exe s, rés iden tiel, rec her che	A1– A3, A4– A5, B1– B7, C1 – C4			GWP , RDP, ODP, AP, EP, POC P	Équa tions math émati ques	Archite cture, mécani que, électric ité, génie civil, paysag e	Détails du projet, quantités de matériaux, quantités de déchets, énergie pour fabrication/constructi on/exploitation/mainte nance/démolition, quantité et énergie des véhicules et des équipements	Graph iques en barres et tablea ux

Conclusion

Review, 54, 9–21. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.04.005 .										
Fu, F., Luo, H., Zhong, H., Hill, A. (2014). Development of a carbon emission calculations system for optimizing building plan based on the LCA framework. Mathematical Problems in Engineering, 2014. https://doi.org/10.1155/2014/653849 .	Chine	Résidentiel	A4–A5	ICE, IPCC		GWP	Architecture client /serveur (B/S)	Infrastructure, toiture, murs, fenêtres et portes	Quantités de matériaux, distance de transport, type de transport, traitement des déchets, coût	Graphiques et tableaux
Basbagill, J.P., Flager, F.L., Lepech, M. (2014). A multi-objective feedback approach for evaluating sequential conceptual building design decisions. Automation in Construction, 45, 136–150. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.015 .	États-Unis	Résidentiel	A1–A3, B2 – B4, B6	Ecoinvent, Athena	✓	GWP	Analyse de sensibilité	Infrastructure, enveloppe, intérieur, services	Localisation, type de bâtiment, surface brute, éléments du bâtiment, quantités de matériaux, épaisseur	Graphiques en barres

Tableau 36. Revue des études d'analyse de cycle de vie (traduction en français), source : Environmental and economic performance of residential buildings: LCA|LCC tool and case study in Colombia (Jorge-Ortiz et al., 2025)

Annexe 10. Tableau regroupant les outils ACV

Aspect	COMFIE- PLEIA DES (ACV)	ALCYONE (ACV)	Nova EQUER (ACV)	Athena (ACV/ ACC)	Tally (ACV/ ACC)	BHM (ACV)	cove.to ol (ACV)	EC3 (ACV)	eTool ILD (ACV)	EPI C (ACV)	LCA Quick (ACV)	OneClick LC A (ACV)	TOTEM (ACV/ ACC)
Développeur	LAB recherche environnement	LAB recherche environnement	Izuba	The Athena Sustainable Materials Institute	Building Transparency	Building Transparency	Pattern r + d	Building Transparency	Cerclos	EH DD	BRA NZ	Bionova	OVAM / Bruxelles Environnement / Service public de

Conclusion

													Wallonie
Origine (pays)	France	France	France	USA	USA	USA	USA	USA	UK	Australie	Nouvelle-Zélande	Finlande	Belgique
Année	1990	1990	2011	1997	2013	N/A	N/A	2018	2010	N/A	2019	2020	2023
Coût	Licence	Licence	Licence	Gratuit	Licence	Gratuit	Licence	Gratuit	Licence	Gratuit	Gratuit	Licence	Gratuit
Étapes du cycle de vie (EN 15804 / EN 15978)													
A1-A3 (Produit)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●
A4-A5 (Transport/Chantier)	●	●	●	●	○	●	○	●	●	●	●	●	●
B1-B5 (Usage/Entretien)	●	●	●	○	○	●	○	○	●	○	●	●	○
B6-B7 (Énergie/Eau d'usage)	●	●	●	○	●	●	●	○	●	○	●	●	●
C1-C4 (Fin de vie)	●	●	●	●	●	●	○	○	●	○	●	●	●
D (Au-delà du système)	●	●	●	●	●	●	○	○	●	●	●	●	●
Modules additionnels (hors EN 15978)	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Données entrée													
Énergie chantier (élec., gaz...)	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	●	○	○
Distances de transport	●	○	○	●	●	○	○	●	○	○	○	●	○
Maintenance / rénovation en usage	●	●	●	○	●	●	○	●	○	○	●	●	○
Énergie opérationnelle d'usage	●	●	●	○	●	●	●	●	●	○	●	○	●
Eau opérationnelle d'usage	●	●	●	○	●	○	●	●	●	○	●	○	●
Base d'inventaire (ICV)	EPD; Ecoinvent	EPD; Ecoinvent	EPD; Ecoinvent	Athena; BEES	GaBi 2018	EPD	EPD	GaBi 2018	eTool; EPD; Ecoinvent; BRE Impact	EPD	EPD; LCA Quick	EPD; Ecoinvent	EPD; Ecoinvent
Ouverture des données	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●
Valeurs par défaut proposées	●	○	○	●	●	○	○	○	●	○	●	○	●

Conclusion

Adaptati on au contexte régional	○	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	●	○
Méthode d'évaluat ion d'impact (mid- point)	CML	CML	CML	TRA CI	TRACI	TRACI	N/A	TRACI	CML ; ReCi Pe	N/A	ReCi Pe	CML; TRACI ; EN 15804 +A2	CML; EN 15804 +A2
Performance économique													
Données de coûts (ACC)	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Sortie et résultats													
Résultats graphiqu es	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Résultats numériq ues (tableaux)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Détail par élément (structur e, façade, plancher ...)	○	○	○	●	●	○	○	●	○	●	○	○	○
Détail par groupe de matériau x	○	○	○	●	●	●	●	●	○	●	○	●	●
Détail par étape du cycle de vie	●	●	●	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●
Détail par catégorie d'impact	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●
Scénario s d'amélior ation proposés	○	○	○	●	●	●	○	●	○	●	○	●	○
Import/E xport (BIM, tableurs ...)	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	○

Tableau 37. Revue comparative des outils ACV, source traduite: (Environmental and economic performance of residential buildings: LCA|LCC tool and case study in Colombia) (Jorge-Ortiz et al., 2025)

Annexe 11. Tableau des questions croisées pour le questionnaire

N°	CROISEMEN T	OBJECTIF	TYPE DE GRAPHIQUE / TRAITEMEN T	MISE EN FORME DES REPONSE S	DONNÉE S EXPLOITÉ ES	INTERÊT DE LA QUESTION
----	----------------	----------	--	---	-------------------------------	------------------------------

QA : EST-CE QUE CERTAINS METIERS SONT IDENTIFIES COMME MOTEURS DANS LA REALISATION OU LA DEMANDE D'ACV ?

A	Profession ↔ Réalisation/demande d'ACV	Identifier les métiers moteurs	Histogramme empilé ou barres groupées	Profession : variable catégorielle / Réalisation ACV : Oui/Non, recodé binaire (1=Oui, 0=Non)	Q8 / Q13	Donne un aperçu direct des rôles opérationnels liés à l'ACV
QB : EST-CE QUE L'ANCIENNETE PROFESSIONNELLE INFLUENCE LE NIVEAU DE CONNAISSANCE SUR LES SUJETS ACV ?						
B	Années d'expérience ↔ Niveau de connaissance sur l'ACV	Tester l'influence de l'ancienneté	Boxplot ou scatter plot	Expérience : tranches à coder en valeurs ordinales / Connaissance : échelle 1 à 5	Q11 / Q21 / Q22 / Q23	Permet de tester l'impact de l'expérience sur l'expertise perçue
QC : EST-CE QUE PLUS ON A DE CONNAISSANCES SUR L'ACV, PLUS ON CONSIDERE QU'IL EST PERTINENT DE L'APPLIQUER DANS LE SECTEUR ?						
C	Niveau de connaissance ↔ Intérêt d'appliquer l'ACV dans le secteur	Lien savoir ↔ opinion	Histogramme groupé ou moyenne par niveau	Deux échelles de 1 à 5, valeurs numériques	Q21 / Q22 / Q23 / Q20	Hypothèse centrale du mémoire : plus on connaît, plus on adhère
QD : EST-CE QUE LES PERSONNES FAMILIERES AVEC L'ACV ANTICIPENT D'AVANTAGE DES IMPACTS SUR LEUR METIER ?						
D	Familiarité ↔ Estimation de l'impact de	Voir si connaître = anticiper	Barres comparées ou	Familiarité : Oui/Non → binaire / Impact :	Q19 / Q33	Lien entre connaissance du sujet et

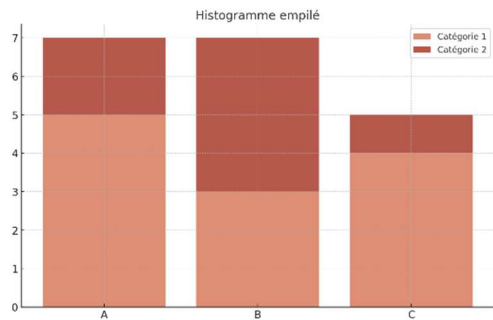
	l'ACV sur son métier		diagramme de Likert	échelle de 1 à 5		projection métier
QE : EST-CE QUE CERTAINS TYPES D'ENTREPRISE SONT PLUS AVANCES QUE D'AUTRES DANS L'INTEGRATION DE L'ACV ?						
E	Entreprise ↔ Niveau d'avancement dans l'intégration ACV	Cartograph ier la maturité des structures	Heatmap ou graphe comparatif	Entreprise : typologie ou nom / Avanceme nt : échelle ou choix ordonné	Q12 / Q15	Représente l'engagement organisation nel, utile à cartographier
QF : EST-CE QUE LES PERSONNES AYANT REALISE DES ACV PERÇOIVENT UN IMPACT CONCRET SUR LES CHOIX CONSTRUCTIFS ?						
F	Réalisation ACV ↔ Impact perçu sur les choix constructifs	Mesurer les retours concrets des expériences	Histogram me groupé ou comparaiso n de moyennes	Réalisation ACV : Oui/Non / Impact : échelle 1 à 5	Q13 / Q35	Apporte une validation terrain de l'ACV comme outil de projet
QG : EST-CE QUE LES PERSONNES PLUS INFORMEES SONT PLUS FAVORABLES AU RENFORCEMENT DE LA REGLEMENTATION ACV ?						
G	Connaissance ↔ Volonté de renforcer la réglementation	Savoir = soutien à la régulation ?	Diagramme empilé ou courbes comparées	Connaiss ance : échelle 1 à 5 / Réglement ation : Oui/Non/N SP à recoder	Q21 / Q22 / Q23 / Q27	Montre le lien entre connaissanc e et soutien à la régulation
Q8 : EST-CE QU'UN FORT INTERET ENVIRONNEMENTAL PERSONNEL SE TRADUIT PAR UN ENGAGEMENT ENVIRONNEMENTAL PROFESSIONNEL ?						
H	Intérêt environnementa	Mesure la cohérence	Corrélation, scatter ou	Deux échelles de	Q17 / Q18	Permet d'analyser la

Conclusion

	l perso ↔ Intérêt environnementa l pro	valeur ↔ travail	barres groupées	1 à 5, valeurs numérique s	cohérence entre valeurs personnelles et pro
QI : EST-CE QUE CERTAINS SECTEURS ESTIMENT PLUS FORTEMENT L'IMPACT ACTUEL DE L'ACV ?					
I	Secteur ↔ Opinion sur l'impact réel de l'ACV aujourd'hui	Voir qui est (dé)connec té des effets	Histogram mes par secteur	Secteur : catégoriel / Impact : échelle 1 à 5	Q9 / Q29 Met en évidence les différences de perception selon les milieux
QJ : EST-CE QUE CERTAINS METIERS OU SECTEURS PARTAGENT DES PERCEPTIONS SIMILAIRES DANS LES REPONSES OUVERTES ?					
J	Réponses ouvertes ↔ Métier/Secteur	Explorer les perception s fines par métier	Analyse qualitative + tableau thématique	Codage thématique manuel des réponses ouvertes par secteur	Q38 / Q8 / Q9 Apporte une richesse qualitative par métier à travers les propos

Tableau 38. Questions croisées avec justification (annexe)

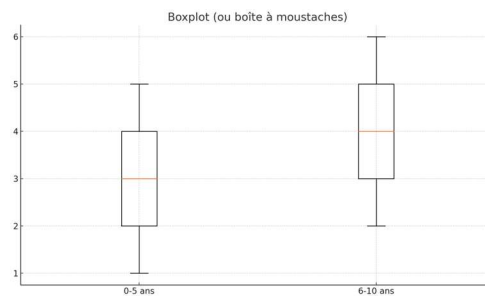
Annexe 12. Type de rendu graphique et méthode de réalisation

Histogramme empilé	 <p>Histogramme empilé</p> <p>7 6 5 4 3 2 1 0</p> <p>A B C</p> <p>Catégorie 1 Catégorie 2</p>
<p>Utilisé pour représenter la répartition d'une variable binaire (ex. : Oui/Non à la question 'avez-vous déjà réalisé une ACV') au sein de différentes catégories (ex. : professions). Ce graphique permet de visualiser quels profils sont les plus impliqués dans une action.</p>	

Conclusion

Méthode de réalisation et analyse : Ces graphiques peuvent être réalisés dans Excel en utilisant les histogrammes empilés via l'option 'Histogramme empilé' des graphiques en colonnes. L'analyse consiste à repérer les catégories les plus représentées dans les segments supérieurs.

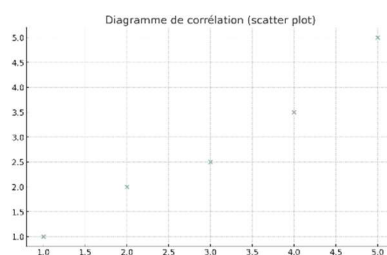
Boxplot (ou boîte à moustaches)



Permet d'analyser la dispersion des niveaux de connaissance ou d'évaluation sur une échelle numérique selon différentes tranches d'ancienneté. Utile pour observer si l'expérience professionnelle influence la perception.

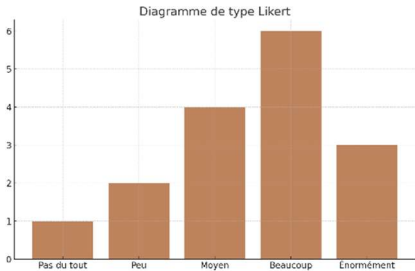
Méthode de réalisation et analyse : Le boxplot est générable dans Excel (boîte à moustaches via l'option graphique statistique). Il permet de visualiser la médiane, les quartiles et les valeurs extrêmes, facilitant l'identification de tendances ou d'anomalies.

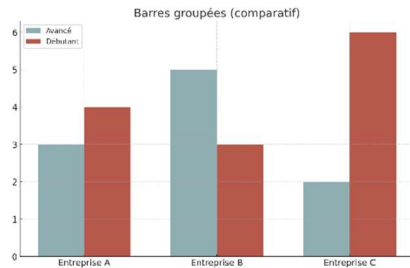
Diagramme de corrélation (scatter plot)



Ce type de graphique est utilisé pour représenter la relation entre deux variables continues ou ordinales. Par exemple, il permet de vérifier si un intérêt environnemental personnel se reflète dans les pratiques professionnelles.

Méthode de réalisation et analyse : Les diagrammes de corrélation (scatter plot) sont disponibles dans Excel sous 'Nuage de points'. Ils permettent d'observer les relations linéaires ou non entre deux variables continues ou ordonnées.

<div>Diagramme de type Likert</div>	<div><p>Diagramme de type Likert</p><table><thead><tr><th>Catégorie</th><th>Valeur</th></tr></thead><tbody><tr><td>Pas du tout</td><td>1</td></tr><tr><td>Peu</td><td>2</td></tr><tr><td>Moyen</td><td>4</td></tr><tr><td>Beaucoup</td><td>6</td></tr><tr><td>Enormément</td><td>3</td></tr></tbody></table></div>	Catégorie	Valeur	Pas du tout	1	Peu	2	Moyen	4	Beaucoup	6	Enormément	3
Catégorie	Valeur												
Pas du tout	1												
Peu	2												
Moyen	4												
Beaucoup	6												
Enormément	3												
<div><p>Représente les réponses à une question évaluative sur une échelle (par exemple : de 'Pas du tout' à 'Énormément'). Il permet d’apprécier la répartition des opinions sur un sujet donné.</p></div>													
<div><p>Méthode de réalisation et analyse : Ce type de graphique est construit avec un histogramme simple dont les catégories correspondent à des niveaux d’échelle (Likert). Excel permet cela via les histogrammes classiques. L’analyse porte sur la répartition des avis.</p></div>													

<div>Barres groupées (comparatif)</div>	<div><p>Barres groupées (comparatif)</p><table><thead><tr><th>Entreprise</th><th>Avancé</th><th>Débutant</th></tr></thead><tbody><tr><td>Entreprise A</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>Entreprise B</td><td>5</td><td>3</td></tr><tr><td>Entreprise C</td><td>2</td><td>6</td></tr></tbody></table></div>	Entreprise	Avancé	Débutant	Entreprise A	3	4	Entreprise B	5	3	Entreprise C	2	6
Entreprise	Avancé	Débutant											
Entreprise A	3	4											
Entreprise B	5	3											
Entreprise C	2	6											
<div><p>Utilisées pour comparer deux groupes ou plus sur une même variable. Par exemple, comparer le niveau d’intégration de l’ACV selon le type d’entreprise.</p></div>													
<div><p>Méthode de réalisation et analyse : Les barres groupées se font dans Excel en insérant deux séries de données côte à côte. On observe les différences entre groupes sur une même variable.</p></div>													

Conclusion

Heatmap	
<p>Permet de visualiser l'intensité ou la fréquence d'une variable croisée sur un tableau à double entrée. Très utile pour représenter la maturité ou l'implication de plusieurs profils dans différents domaines.</p>	
<p>Méthode de réalisation et analyse : En Excel, il s'agit d'un tableau croisé dynamique avec mise en forme conditionnelle couleur. L'analyse porte sur l'intensité visuelle des croisements les plus significatifs.</p>	
Courbes comparées	
<p>Utilisé pour représenter l'évolution ou la tendance de deux séries de données parallèlement, par exemple les différences de perception selon deux groupes.</p>	
<p>Méthode de réalisation et analyse : Réalisation avec des graphiques en courbes dans Excel (type ligne). Permet d'analyser les écarts ou les convergences entre séries.</p>	
Analyse qualitative (codage thématique)	

Méthode utilisée pour analyser les réponses ouvertes. Les verbatims sont codés selon des thèmes récurrents, puis regroupés par catégorie (secteur, métier...). Le résultat est présenté dans un tableau de synthèse ou un nuage de mots.

Méthode de réalisation et analyse : Réalisée manuellement : les réponses sont relues et classées par thématiques. On peut ensuite quantifier les occurrences ou résumer les idées majeures. La présentation se fait souvent sous forme de tableau, nuage de mots, carte mentale ou synthèse textuelle.

Tableau 39. Les différents types de rendu: méthode, rendu, interprétation (annexe)

Annexe 13. Niveau évaluation profils

Intérêt personnel pour les sujets liés à l'ACV et à l'environnement

NIVEAU	INDICATEURS DANS LE DISCOURS
FAIBLE	« Ce n'est pas un sujet que je suis » / Absence d'implication déclarée
MODERE	Intérêt global pour les enjeux environnementaux, sans focus ACV
FORT	Lecture personnelle, formations suivies, suivi régulier des sujets ACV
TRES FORT	Engagement actif (association, veille autonome, pratiques personnelles engagées)

Tableau 40. Grille évaluation intérêt personnel (annexe)

Intérêt professionnel pour l'ACV dans les pratiques de projet,

Niveau Indicateurs dans le discours

<i>Faible</i>	ACV perçue comme contrainte, non utilisée, "pas notre rôle"
<i>Modéré</i>	Usage ponctuel ou réactif (clients, appels d'offres)
<i>Fort</i>	Volonté d'intégrer l'ACV, usage fréquent en projet
<i>Très fort</i>	ACV cœur de métier, stratégie intégrée, mission structurée autour de l'ACV

Tableau 41. Grille évaluation intérêt professionnel (annexe)

Niveau de connaissance de l'ACV, qu'il soit théorique ou issu de l'expérience.

Niveau Indicateurs dans le discours

<i>Faible</i>	Connaissances approximatives, vocabulaire flou
<i>Modéré</i>	Connaissances générales, maîtrise des bases
<i>Fort</i>	Bonne compréhension des méthodes et outils
<i>Très fort</i>	Usage d'outils, référence à des normes, maîtrise des périmètres, vision critique

Conclusion

Tableau 42. Grille évaluation connaissances (annexe)

Annexe 14. Fiches profils entretien



Figure 70. Résultats entretien, fiche personne 1 (annexe)

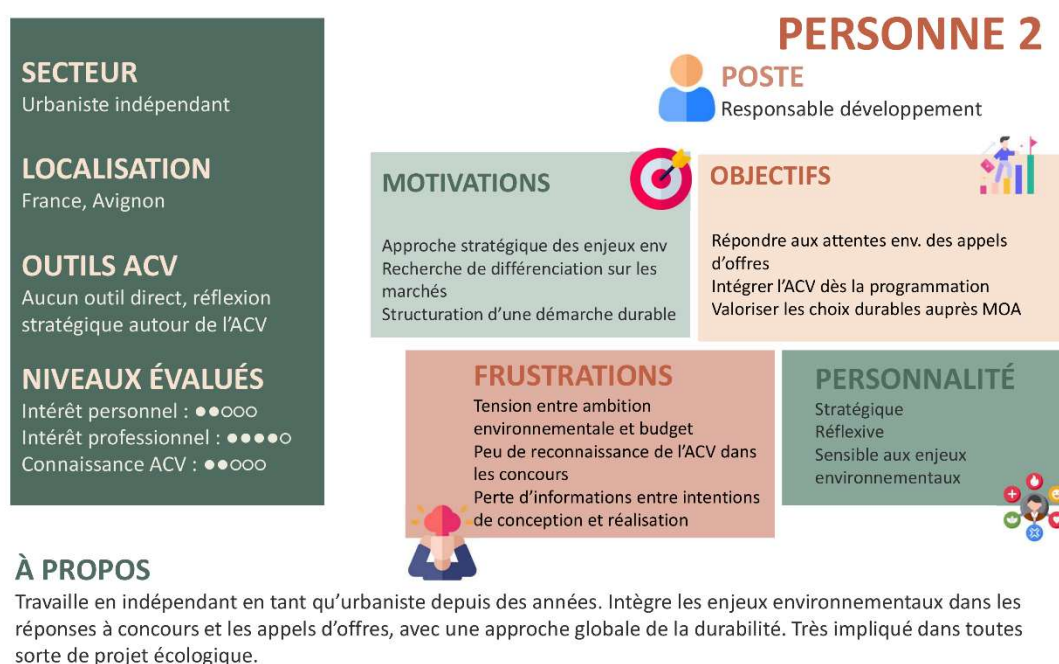


Figure 71. Résultats entretien, fiche personne 2 (annexe)

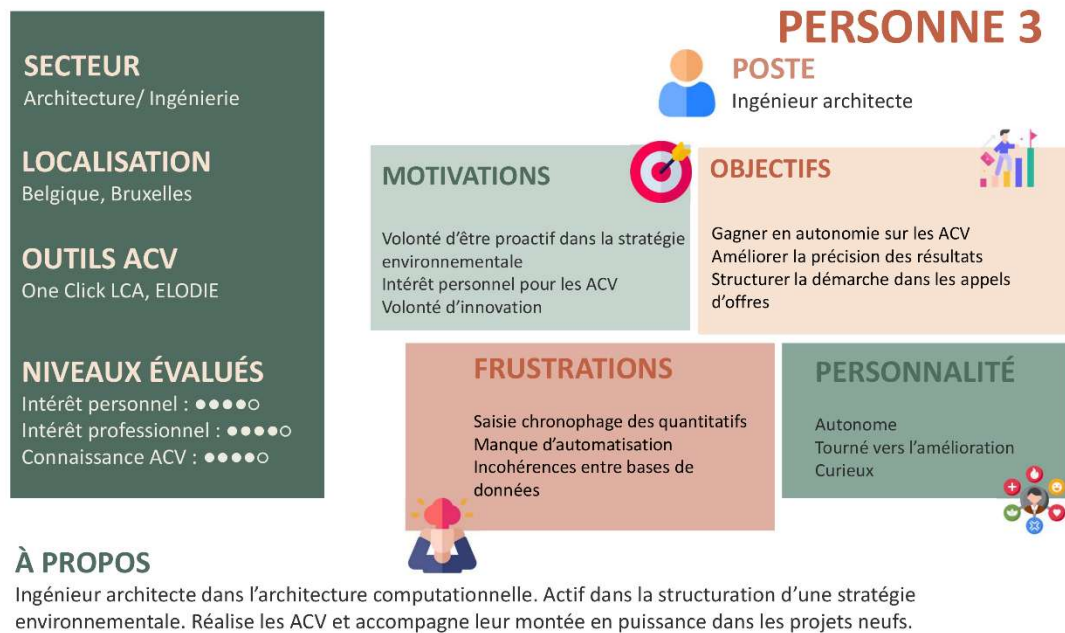


Figure 72. Résultats entretien, fiche personne 3 (annexe)

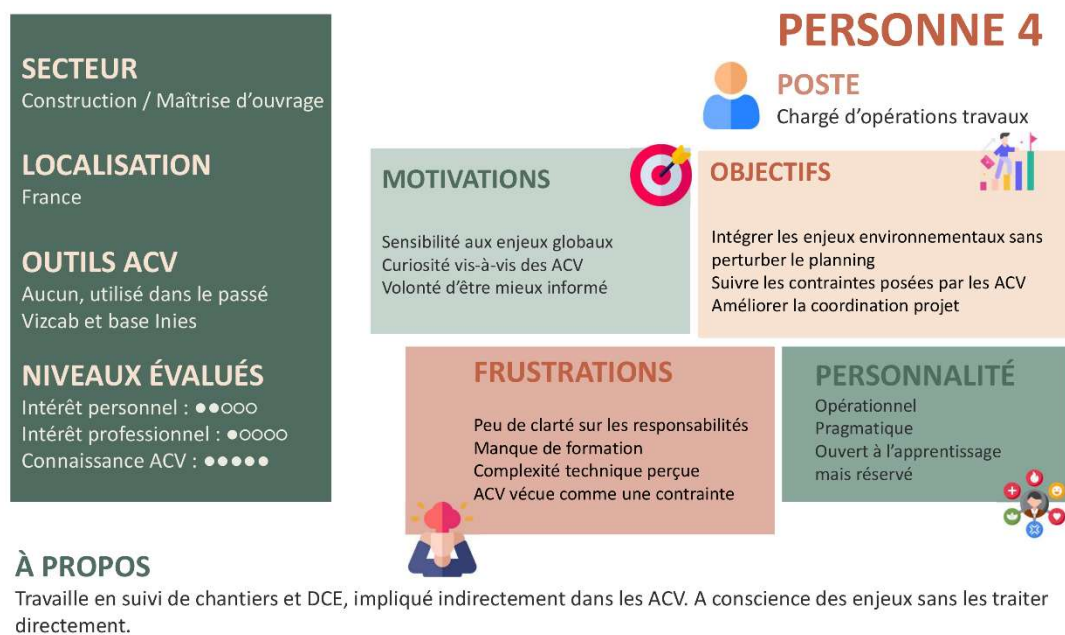


Figure 73. Résultats entretien, fiche personne 4 (annexe)

Conclusion



Figure 74. Résultats entretien, fiche personne 5 (annexe)



Figure 75. Résultats entretien, fiche personne 6 (annexe)



Figure 76. Résultats entretien, fiche personne 7 (annexe)



Figure 77. Résultats entretien, fiche personne 8 (annexe)



Figure 78. Résultats entretien, fiche personne 9 (annexe)

Annexe 15. Réponse aux sous questions par l'état de l'art

<i>Challenges, drivers et obstacles</i>	<i>Obstacles multi-dimensionnels (coût-temps, compétences, données, interopérabilité) et drivers liés aux exigences réglementaires/marché et à la demande MOA ; leviers concrets : pré-ACV, standards de données, formation, outillage BIM-ACV, QC, jalons</i>	<i>Learnings from developing a context-specific LCA tool for buildings — the case of LCAByg 4 (Kanafani et al., 2021)</i> <i>Tool characterisation framework for parametric building LCA (Säwén et al., 2022)</i> <i>Toward a national life cycle assessment tool: Generative design for early decision support (Hassan et al., 2022)</i> <i>Where to focus? Developing a LCA impact category selection tool for manufacturers of building materials (Feng et al., 2023)</i> <i>Developing REGENERATE: A circular economy engagement tool for the assessment of new and existing buildings (Gillott et al., 2023)</i>
<i>Prise en charge selon structures et réglementations</i>	Les contextes nationaux/sectoriels orientent fortement les schémas d'intégration (outils, bases, indicateurs), avec combinaisons externalisation + montée en compétence interne et ressources variables selon maturité numérique et exigences locales	<i>Developing environmental benchmarks for the Belgian residential building stock (Mouton et al., 2022).</i> <i>Developing a new data-driven LCA tool at the urban scale: The case of the energy performance of the building sector (Famiglietti et al., 2022).</i> <i>Learnings from Developing a Context-Specific LCA Tool for</i>

Conclusion

<p><i>ACV comme levier d'innovation et de prise de conscience</i></p>	<p>Les outils amont structurent des boucles d'apprentissage et favorisent des mutations organisationnelles (rôles clarifiés, standardisation des flux, nouvelles offres ACV-ready, dialogue industriel)</p>	<p><i>Buildings — The Case of LCAByg 4</i> (Kanafani et al., 2021). <i>An LCA-based model for assessing prevention versus non-prevention of construction waste in buildings</i> (Llatas et al., 2021). <i>Toward a national life cycle assessment tool: generative design for early decision support</i> (Hassan et al., 2022). <i>Developing REGENERATE: a circular economy engagement tool for the assessment of new and existing buildings</i> (Gillott et al., 2023). <i>Streamlining the life cycle assessment of buildings by structured under-specification and probabilistic triage</i> (Tecchio et al., 2019). <i>An integrated LCA & LCC approach towards sustainable building renovation via a dynamic online tool</i> (Apostolopoulos et al., 2023).</p>
<p><i>Modalités d'intégration (interne vs externe)</i></p>	<p>Le modèle hybride domine : internaliser la décision (pré-ACV/scénarios/coordination données) tout en s'appuyant sur des BE pour calculs normatifs/vérification/pics de charge ; les BE thermiques évoluent vers l'ACV (couplage énergie-carbone, optimisation conjointe).</p>	<p><i>Development of a BIM-Based Maintenance Decision-Making Framework for the Optimization between Energy Efficiency and Investment Costs</i> (Kim et al., 2018). <i>Challenges and opportunities for integrating BIM and LCA: Methodological choices and framework development</i> (Safari & AzariJafari, 2021). <i>Streamlined environmental and cost life-cycle approach for building thermal retrofits: A case of residential buildings in South European climates</i> (Rodrigues et al., 2018). <i>Building design-space exploration through quasi-optimization of life cycle impacts and costs</i> (Hester et al., 2018).</p>

Tableau 43. Réponses aux sous-questions de l'état de l'art (annexe)

Annexe 16. Tableau synthétisant les 15 facteurs les plus impactant

Rang (≈ importance cumulée)	Facteur incertain (n° interne)	Catégorie	Pourquoi il pèse lourd dans les résultats ACV
-----------------------------	--------------------------------	-----------	---

1	Construction-material waste	Processus chantier	Les quantités perdues au chantier agissent comme un multiplicateur direct sur tous les impacts matière.
2	Environmental background data	Données de fond (Ecoinvent)	Les variations de la base Ecoinvent (2 000 échantillons aléatoires) modifient simultanément chaque flux amont.
3	Conductivité de la laine de verre	Propriété matériau	Affecte l'épaisseur nécessaire pour atteindre la résistance thermique cible → influence indirectement les quantités.
4	Durée de vie du bâtiment	Scénario / temporel	Prolonge ou réduit le nombre de remplacements et l'importance de la phase d'usage.
5	Durée de vie du revêtement (couverture)	Composant	Un remplacement supplémentaire d'étanchéité déplace le classement d'alternatives bois/béton.
6	Durée de vie de l'isolant	Composant	Même logique que ci-dessus, mais appliquée aux couches d'isolation.
7	Chaleur volumique de l'OSB	Propriété matériau	Influence le calcul horaire des charges thermiques dans la simulation énergétique couplée.
8	Conductivité du polystyrène	Propriété matériau	Identique à la laine de verre : impact sur épaisseur et masse.
9	Processus d'extrusion du polystyrène	Procédé industriel	Choix du gaz gonflant (CO ₂ vs R134a) change le GWP amont jusqu'à ±25 %.
10	Teneur d'acier dans le béton	Paramètre matériaux	Fait varier fortement GWP de la structure (acier = forte intensité carbone).
11	Pont thermique – séjour	Modélisation thermique	Une variation de -75 %/+25 % du Ψ -value modifie la demande de chauffage donc les impacts d'usage.
12	Variabilité du climat	Scénario climatique	2 000 fichiers météo stochastiques font fluctuer la consommation d'énergie et les impacts associés.
13	Variabilité de l'occupation	Scénario usage	2 000 scénarios d'occupation (modèle Vorger) affectent profils de chauffage, DHW, ventilation.
14	U-value fenêtre RDC-Est	Propriété composant	Petite variation (+/-5 %) mais forte élasticité sur pertes par transmission dans l'alternative bois.
15	Conductivité de la fibre de bois	Propriété matériau	Même effet que #84/#83 mais sur l'alternative ossature bois.

Tableau 44. Les 15 facteurs les plus influents identifiés par le criblage MA-Morris, « Dealing with uncertainties in comparative building life-cycle assessment », 2023) (annexe)

Annexe 17. La réglementation en France

La RE 2020 opérationnalise l'ACV par un jeu d'indicateurs et de données normalisées (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024):

- Chaque produit, équipement et service (énergie, eau) est associé à une donnée environnementale (36 critères) ; la réglementation ne porte que sur l'impact changement climatique, ramené à la surface réglementaire et nommé $I_{c_bâtiment}$ (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024).
- Les principaux contributeurs à l'empreinte sont « Composants » et « Énergie », qui représentent souvent ~90 % des impacts d'une opération ; la RE 2020 réglemente

spécifiquement les indicateurs $Ic_{\text{construction}}$ et $Ic_{\text{énergie}}$ (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024).

- La mise en œuvre est sécurisée par attestations : au permis de construire, engagement à réaliser une ACV conforme et à respecter $Ic_{\text{construction}}$; à l'achèvement, attestation du respect de l'ensemble des indicateurs, contrôle de cohérence de 10 données ACV utilisées, et publication des valeurs informatives $Ic_{\text{bâtiment}}$ et StockC (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024)
- Une nouvelle exigence complète le dispositif : les degrés-heures d'inconfort (DH) pour le confort d'été (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024).

La France a mis en œuvre des valeurs limites (période 2022–2024), entre 640 et 900 kg CO₂e/m² selon la typologie, avec ACV obligatoire pour justifier la conformité ; ces valeurs couvrent toutes les étapes de cycle de vie des émissions “embodied” (Tozan et al., 2024). La trajectoire prévoit, pour le logement, une valeur limite provisoire de 640 kg CO₂e/m² (émissions initiales), descendant à 415 kg d'ici 2031 (Barjot & Malmqvist, 2024). La France devance partiellement la directive européenne en fixant des seuils évolutifs ; toutefois, elle devra étendre son calcul carbone (aujourd'hui centré sur A1–A5 et B/C/D modulés) pour couvrir GWP « A–D » conformément aux exigences européennes. Le décret n° 2020-887 (20/07/2020) vise à situer l'efficacité énergétique du bâtiment par rapport à des valeurs de référence et à détecter les pertes d'efficacité des systèmes techniques.

Annexe 18. La réglementation en Belgique

Le guide TOTEM fournit des clauses-types, une FAQ et une annexe opérationnelle par phases. Elle informe des liens BIM/PEB, de la gestion des versions et des modalités d'évaluation qualitative/quantitative. (TOTEM propose des profils de référence pour le parc résidentiel belge, mais sans valeur limite juridiquement contraignante à ce stade. (Zhang et al., 2021). Dans sa version 2.4.5, TOTEM permet l'évaluation de l'impact environnemental des murs, toitures, planchers, structures et menuiseries. L'énergie d'usage est traitée de façon simplifiée et l'intégration PEB est annoncée. En présence d'exigences quantitatives (ex. score maximal en mPt/m²), toute évolution de solution doit rester sous la limite imposée aux résultats globaux du projet. Le positionnement du guide articule objectifs ACV/circularité à l'intérieur de la « durabilité » du marché, avec compatibilité vis-à-vis d'ambitions réglementaires régionales/locales, et articulation avec PEB, BIM et exigences internes du maître d'ouvrage. Pour finir, il signale des limites : circularité partiellement couverte ; énergie d'usage simplifiée ; installations techniques en cours d'intégration. Les risques/incertitudes sont répertoriés avec recommandations de suivi et d'amélioration continue (Vismara, Fransen, 2022).

Annexe 19. Hypothèse 1, informations complémentaires

TRANSFORMATIONS ATTENDUES	CONTENU
REGLEMENTAIRE	Rôles bien normés autour du BE ; alignement RE2020 et exigences clients.
TECHNIQUE	Fournir des données de qualité/quantité au BE ; calcul externe.
ORGANISATIONNELLE	BE garde-fou de la validité ; nouvelle case dans le process.
CULTURELLE	Méthodes questionnées seulement en cas de retour négatif.

Conclusion

Tableau 45. Hypothèse 1, transformations attendues

INDICATEURS DE VALIDATION	SIGNATURE ATTENDUE
MOMENT DE DECLENCHEMENT	ACV tardive (PRO/DCE).
ITERATIONS	≥ 3–4 avant conformité.
QUALITE DES DONNEES	EPD/FDES génériques dominantes ; faible capitalisation interne.
GOVERNANCE/RITUELS	Pas de comité carbone/KPI internes ; forte dépendance au BE.
CHOIX TECHNIQUES	Variante bas carbone rarement retenues (sauf pour seuils).

Tableau 46. Hypothèse 1, indicateur de validation

RISQUES / CONDITIONS	DETAIL
RISQUE	Dépendance durable, peu d'apprentissage, faible innovation.
CONDITIONS DE SUCCES	Données fournies au BE de qualité ; cadrage contractuel clair.

Tableau 47. Hypothèse 1, risques et conditions

Annexe 20. Hypothèse 2, informations complémentaires

Transformations attendues	Contenu
Réglementaire	Compréhension fine des seuils/attentes ; gestion des non-validations.
Technique	Nouveaux outils ; extraction/références produits ; Data fluide ; masse critique de FDES spécifiques.
Organisationnelle	Clarifier « qui est en charge » ; au début, focus faisabilité (risque de sous-focus performance).
Culturelle	Volonté de formation, prises de conscience, responsabilisation.

Tableau 48. Hypothèse 2, transformations attendues

Indicateurs de validation	Signature attendue
Moment de déclenchement	ACV lancées tôt (esquisse/APS).
Itérations	Erreurs/itérations d'apprentissage qui décroissent.
Qualité des données	Part de FDES spécifique augmentent ; bibliothèques internes ; règles BIM→ACV.
Rôles/compétences	Référent ACV désigné ; heures de formation tracées.

Indicateurs de validation Signature attendue

Choix techniques Adoption croissante de variantes bas carbone, justifiées.

Tableau 49. Hypothèse 2, indicateurs de validation

Risques / conditions	Détail
Risque	Sous-dotation (personnel/budget/outils) → surcharge, retards, qualité inégale.
Conditions de succès	Sponsoring managérial, gouvernance data, temps dédié, plan de compétences.

Tableau 50. Hypothèse 2, risques et conditions ;

Annexe 21. Hypothèse 3

Transformations attendues	Contenu
Réglementaire	Cadrage des personnes ; cohérence ACV conception ↔ ACV livrée (RE2020).
Technique	Usage ciblé des outils ; gestion de données au cœur (produire/diffuser/recevoir) ⇒ conformité critique.
Organisationnelle	Rôles redéfinis (pilote amont/suivi aval) ; rôle distribué ; BE en conseil environnemental.
Culturelle	Questionnement accru ; responsabilisation progressive ; changements matériaux accompagnés.

Tableau 51. Hypothèse 3, transformations attendues

Indicateurs de validation	Signature attendue
Rituels	Pré-ACV systématique ; comités carbone aux jalons ; décisions coût-carbone-délai tracées.
Itérations	Moins qu'en tout-interne/tout-externe (périmètre comparable).
Rôles/coordination	RACI clair ; plusieurs porteurs selon phase ; apport BE en conception.
Qualité des données	Règles d'appariement + versioning ; stabilité/traçabilité accrues.
Choix techniques	Taux d'adoption de variantes bas carbone en hausse, appuyé par analyses précoces.

Tableau 52. Hypothèse 3, Indications de validation

Risques / conditions Détail

Risque Hybride de façade (rôles flous) ⇒ coûts + lenteur, pas d'apprentissage.

Conditions de succès Rituels stables (pré-ACV/jalons), contrats BE clairs, gouvernance data.

Tableau 53. Hypothèse 3, risques et conditions

Annexe 22. Les données entrantes et sortantes

En ACV, tous les impacts des processus amont doivent être rassemblés pour calculer l'impact total du produit, puis tous ceux des produits pour calculer celui d'un projet (Hoogmartens et al., 2014). Un problème récurrent est pourtant signalé concernant les incertitudes mal traitées et le manque de données primaires dans les études bâtiment (Ghattas et al., 2016). L'ACV a au cœur de ses enjeux la gestion de ses données, le contrôle de leur qualité et leur quantitatif. Les paramètres d'entrée couvrent quantités/propriétés/durée de vie/données climatiques/scénarios d'usage, et les sorties sont des scores d'impact par indicateur (Pannier et al., 2023). Dans un souci de bonnes gestions des données, des exigences amont et base de documentation sont nécessaires. Les soumissionnaires, dans les documents de consultation doivent préciser les principes ACV (périmètre, facteurs), les documents techniques, les quantitatifs et qualitatifs des matériaux et systèmes mis en place, et aussi dans certains cas le niveau de prix carbone utilisé (Scherz et al., 2023). Un des enjeux de ces set de data, est un enjeu de gouvernance et d'architecture data permettant la transposition de l'ACV. Pour garantir qualité, traçabilité et comparabilité à grande échelle, une architecture data inspirée des bonnes pratiques de la banque centrale européenne est transposable à l'ACV : plateforme centrale avec *data labs* (espaces projets à droits gérés : rôles, validation, audit, traçabilité) et *data factory* (chargements automatisés : contrôles qualité, harmonisation, recalcul), gouvernance fédérale (Data Committee, *data stewards/owners*), Single Data Dictionary (un dictionnaire commun des unités, unités fonctionnelles et frontières système (garantissant des hypothèses comparables) et Data Inventory (EPD, facteurs d'impact, quantités de chantier/BIM) appuyé sur des UF et frontières. Le tout vise à industrialiser les flux (mise à jour automatique de benchmarks) (Witt & Blaschke, s. d.). Ce socle rend les résultats plus robustes, comparables et continuellement actualisés, tout en simplifiant l'audit et la décision (Witt & Blaschke, s. d.).

Dans les données entrantes et sortantes, la qualité des données est un enjeu primordial. Les inventaires de donnée combinent logiciels ACV (open-source ou commerciaux), EPD/FDES/PEF, données publiques nationales et données primaires, avec revue de qualité systématique lorsque ces sources sont croisées (Ahmed et al., 2024; Mattinzioli et al., 2022). Dans le cadre de la RE2020 et de la base de données nationale française utilisée (base Inies), la qualité des données est différente selon le type de données. Elle regroupe les données fournisseur, données collective et données environnementale par défaut (DED). Les fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire Individuelle (FDES ind.) sont spécifiques à un produit de construction, elles sont réalisées par le fabricant lui-même. Ce sont les types de données les plus précises donc le plus intéressantes à utiliser. Les fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire Collective (FDES col.) sont accordées à plusieurs produits de construction similaire existant sur le marché, elles sont réalisées par le groupement de fabricant. Elles sont plus impactantes car doivent prendre un plus grand spectre d'émission et sont donc moins précises. Enfin, les données environnementales par défaut (DED) sont fournies par le CSTB lorsque aucune FDES ou PEP spécifique n'est disponible. Ce sont des valeurs pénalisantes issues de moyennes sectorielles ou

Conclusion

de données génériques (Ministère de la Transition écologique & Cerema, 2024). Dans les grands projets, des bases spécifiques peuvent être créées (échantillons de > 650 et 1 191 bâtiments), ce qui illustre le besoin d'architectures de données robustes et précises. Le fait qu'elle soit mise en place sur des grands projets est justifié par le fait qu'il y a suffisamment de données pour les alimenter et permet de faciliter la recherche, la lecture et la reproductibilité (Mattinzioli et al., 2022). À l'échelle des études, un manque de données primaires (manque de référence, imprécision sur le composant exact mis en place ou les quantitatifs) et une gestion insuffisante de l'incertitude restent des limites récurrentes (Ghattas et al., 2016).

Concernant les données traçant les quantitatifs, le modèle IFC est courant, quand l'ACV est développé avec le BIM. Le modèle IFC fournit directement les m^2 , m^3 et kg via types de données classées. La procédure consiste à détecter les éléments multicouches, accéder aux propriétés, filtrer les quantités, distinguer les unités, générer la liste finale (m^2 , m^3 , kg), puis lier ces quantités aux bases de données avec validation manuelle pour un contrôle qualité (Bartels et al., 2023). Dans les flux de données revus, le mètre s'effectue sur l'IFC et les CSV ($m^2/m^3/kg$) deviennent les entrées des moteurs ACV/LCC. Pour faciliter l'export, des plugins (BIM2Eco-object) exportent les attributs environnementaux en IFC/XML/gbXML, interopérables avec les moteurs d'énergie/ACV (Durão et al., 2019; Lu et al., 2021; Safari & AzariJafari, 2021). Afin d'être précis et adapter aux mieux les projets et leurs exigences, il est important de ne pas négliger la phase d'usage, de fin de vie et de circularité. Les flux d'usage et fin de vie doivent être explicitement paramétrés (pour l'incinération et le recyclage est utilisé souvent des moyennes européennes) (Brändström & Saidani, 2022). En parallèle, les cadres nationaux comme TOTEM mettent un accent spécifique sur les ressources et la circularité (*totem*). Le BOM/LCI demeure l'ossature de la collecte des entrées/sorties, déterminant la qualité et la précision des résultats (Khadim et al., 2025)

Il est important que le traitement de ces jeux de données, une fois passé dans l'ACV, soit rigoureux dans leur manipulation. Les outils restituent ces résultats numériquement et graphiquement, ventilés par phase, par élément et par famille de matériaux (Jorge-Ortiz et al., 2025b). La méthode ReCiPe 2008 renforcée par des exigences de commande publique, sécurise la traçabilité et limite les biais, conditions d'ACV opérationnelles et auditable (toutes les références citées ci-dessus) (Goedkoop et al., 2013).