

Etude N°2024-02

ACV des projets et infrastructures

Synthèse

29/07/2025

Version	29/07/2025	
Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nils GOFFETTE Johan LHOTELLIER Bernard DE CAEVEL	Johan LHOTELLIER	



L'association SCORE LCA est une structure d'étude et de recherche dédiée aux travaux relatifs à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et à la quantification environnementale. Elle vise à promouvoir et à organiser la collaboration entre entreprises, institutionnels et scientifiques afin de favoriser une évolution partagée et reconnue, aux niveaux européen et international, de la méthode d'Analyse du Cycle de Vie et de sa mise en pratique.

- En Bibliographie, ce document sera cité sous la référence :
SCORE LCA, ACV des projets et infrastructures, 2025, synthèse 21, n°02-2024.
(à mentionner uniquement dans le rapport final)
- Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) : www.ademe.fr
- Les points de vue et recommandations exprimés dans ce document n'engagent que les auteurs et ne traduisent pas nécessairement, sauf mention contraire, l'opinion de l'ensemble des membres de SCORE LCA.
- Les informations et les conclusions présentées dans le présent document ont été établies au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

RESUME

Cette étude a pour but de faire l'état de l'art des méthodologies et des bases de données, études et outils existants qui peuvent servir pour l'ACV des infrastructures et d'en dresser des recommandations pour leur usage en appui des décisions de conception ou en vue d'évaluations sur ce type de projet et la mise à disposition de données de référence.

MOTS CLES

ACV, Infrastructures, Bâtiment industriel, Infrastructure de transport, Biens capitaux

Table des matières

1	Contexte et objectifs	5
1.1	Contexte.....	5
1.2	Objectifs	6
2	Qu'est-ce qu'une d'infrastructure ?	6
3	Etat de l'art	7
3.1	Inclusion des infrastructures dans des ACV produits/service	7
3.2	Les jeux de données d'infrastructures disponibles dans ecoinvent	8
4	Enjeux identifiés pour la réalisation d'ACV des infrastructures.....	9
4.1	Enjeux associés à l'étape « Objectif et champs de l'étude »	9
4.2	Enjeux associés à la phase d'inventaire.....	10
4.3	Enjeux associés à la phase de caractérisation des impacts	13
4.4	Enjeux associés à l'interprétation des résultats.....	14
5	Cas d'études.....	15
6	Recommandations.....	17
	Table des tableaux	Erreur ! Signet non défini.
	Table des figures	Erreur ! Signet non défini.

1 Contexte et objectifs

1.1 Contexte

La question des infrastructures en ACV n'a fait l'objet que de peu d'études dédiées. Certaines ACV les omettent au motif qu'elles ne pèsent que peu dans le bilan global d'un produit. D'autres, à l'instar de bases de données, les prennent en compte de façon simplifiée.

Les ACV des bâtiments résidentiels se sont largement développées. Une première cause de ce développement est la surface importante que ces bâtiments représentent. Les bâtiments résidentiels (hors tertiaire) représentent 24,5 millions de mètres carrés de mises en chantiers neufs, tandis que les bâtiments industriels et de stockage représentent 8,8 millions de mètres carrés de mises en chantiers neufs (Fédération Française du Bâtiment, 2024). Une seconde cause de ce développement est les enjeux de politiques publiques (stratégie nationale Bas carbone, décarbonation de certaines filières dont le ciment). Ainsi, pour ce secteur, l'empreinte carbone de la construction représente un tiers de l'empreinte carbone (le reste étant lié à l'exploitation des bâtiments).

De plus, les ACV de produits de construction du bâtiment se sont largement démocratisées en raison de la création de Déclarations Environnementales de Produit (DEP ou Environmental Product Declaration (EPD) en anglais). Ainsi, des bases de données nationales se sont mises en place pour recenser les DEP, telles que la base INIES en France et la base IBU.data en Allemagne.

Certains matériaux représentent des enjeux considérables à l'échelle mondiale à l'instar du ciment qui représente 13.5 millions de tonnes de CO₂-eq en 2021 en France soit environ 2% de l'empreinte carbone de la France. Le ciment lié au secteur du bâtiment est responsable de 4% des émissions à l'échelle mondiale¹.

La prise en compte des infrastructures en Analyse du Cycle de Vie (ACV) reste un sujet complexe et peu exploré. Cependant, différentes méthodologies ont insisté sur l'importance de prendre en compte l'impact des bâtiments et infrastructures à l'instar de la méthode du GHG Protocol et de la Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre (ADEME, 2022) pour le calcul de la sous-catégorie « 4.2 Immobilisations de biens ».

Ainsi, bien que l'ACV, soit un outil répandu pour les produits de construction et bâtiments résidentiels, elle reste relativement peu utilisée pour les installations industrielles et de transport. Cela s'explique par des questions méthodologiques et pratiques.

- Lors de l'ACV d'un bien ou d'un service, dans quels cas les infrastructures doivent-elles être prises en compte et dans quels cas doivent-elles être exclues ?
- Si elles sont incluses, dans quel cas une modélisation plus fine que celle d'une donnée environnementale générique (e.g. ecoinvent) est-elle nécessaire ?
- Suffit-il de sommer les impacts renseignés dans les DEP des éléments qui composent le bâtiment ?
- Que faire si pour certains éléments, les DEP portent seulement sur une partie du cycle de vie, voire s'il n'y a pas de DEP ?
- Quel est le niveau de détail pertinent en fonction de l'objectif de l'ACV ?
- Àuprès de qui collecter les données ?
- Comment collecter efficacement les données ?

¹ <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/chapter/chapter-9/>

1.2 Objectifs

L'étude menée par SCORE LCA vise à fournir un état de l'art des méthodologies, bases de données et outils disponibles, tout en proposant des recommandations précises pour l'application de l'ACV aux infrastructures (industrielles, de transport, etc.). L'objectif principal est d'établir une guidance méthodologique pour la réalisation d'ACV appliquées aux infrastructures afin de supporter efficacement les prises de décisions et fournir des données de référence fiables.

2 Qu'est-ce qu'une d'infrastructure ?

La notion d'infrastructure constitue un élément central pour l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) appliquée aux projets industriels et de transport. Il n'existe pas de consensus clair ni de définition unique pour ce terme dans les principaux référentiels méthodologiques (ISO 14040, ISO 14044, PEF, GHG Protocol, etc.). Ce manque de précision entraîne des difficultés d'interprétation et une disparité dans les analyses.

Analyse des définitions existantes

L'analyse a révélé des divergences importantes. Tandis que la notion de « bâtiment » met généralement l'accent sur la fonction d'abri et de permanence, l'« infrastructure » est souvent décrite comme un ensemble complexe d'équipements, d'installations et de services indispensables à une organisation. Une confusion fréquente persiste entre « biens capitaux » et « infrastructures », les premiers englobant souvent les secondes ainsi que d'autres éléments tels que les équipements de production ou encore la maintenance.

Définition proposée

En réponse à ces constats, une définition opérationnelle d'une infrastructure est proposée :

Une infrastructure est un ensemble d'immobilisations (CAPEX) autour du service rendu par cette infrastructure ainsi que des éléments qui permettent son entretien (maintenance, pouvant être incluse dans les OPEX) et son fonctionnement (consommations et émissions associées pour les systèmes inhérents au bâtiment).

Les OPEX ou dépenses d'exploitation (de l'anglais operational expenditure) sont les charges courantes pour exploiter un produit, une entreprise, ou un système.

Les CAPEX ou dépenses d'investissement (de l'anglais capital expenditure) se réfèrent aux immobilisations, c'est-à-dire aux dépenses qui ont une valeur positive à long terme.

3 Etat de l'art

3.1 Inclusion des infrastructures dans des ACV produits/service

La question de l'inclusion ou de l'exclusion des infrastructures dans les analyses de cycle de vie (ACV) des produits ou services fait débat. Cette inclusion varie fortement en fonction des référentiels méthodologiques, réglementaires ou normatifs appliqués, mais aussi selon les secteurs concernés et les indicateurs environnementaux étudiés.

Une revue approfondie des principaux référentiels ACV clés (ISO 14040-44, ISO 14025, ISO 14072, ISO 14069, PEF-OEF, GHG Protocol, Affichage environnemental français, BEGES NF EN 50 693, PAS 2050, divers programmes EPD) met en évidence une grande disparité dans les recommandations concernant l'inclusion des infrastructures. Des référentiels produits et organisations ont été étudiés.

On y trouve toutes les configurations possibles :

- Inclusion obligatoire ;
- Inclusion possible ;
- Exclusion sous condition ;
- Exclusion obligatoire ;
- Pas de guidance.

D'une manière générale, les référentiels obligeant à exclure les infrastructures autorisent leur inclusion avec justification.

Dans la littérature, l'analyse des contributions des infrastructures aux résultats d'ACV montre qu'elles peuvent être significatives pour certains secteurs et certaines catégories d'impacts :

- Secteurs fortement impactés : énergies renouvelables (éolien, photovoltaïque) et traitement des eaux usées ;
- Catégories d'impacts particulièrement sensibles : épuisement des ressources minérales et métalliques, occupation des sols, toxicité humaine.

Des travaux académiques (Frischknecht, 2007 ; Tokede, 2023) révèlent que l'impact relatif des infrastructures est généralement sous-estimé ou mal représenté dans les bases de données génériques, ce qui entraîne des biais d'évaluation importants.

Les auteurs de la présente étude prescrivent une prise en compte systématique (avec une approche conservatrice, à savoir maximiser les impacts) en première itération de calcul. Après une évaluation de leur influence sur les résultats et si leur impact est significatif, les infrastructures seront affinées en seconde itération. Si un tel affinage n'est pas possible alors que leur impact est significatif, les infrastructures pourront être exclues en soulignant cette limite dans les conclusions de l'étude.

Les normes NF EN 15978 et la réglementation RE 2020 ont été plus particulièrement investiguées

La norme NF EN 15978 précise des éléments clés à prendre en compte pour la réalisation d'ACV de bâtiments, notamment l'unité fonctionnelle, les frontières du système, ainsi que les phases à considérer (construction, utilisation, fin de vie). De même, la réglementation environnementale française RE2020 propose une méthodologie rigoureuse et définit explicitement les périmètres physiques et temporels à considérer. Elle apporte des éléments utiles pour structurer la sélection des données environnementales à utiliser, ce qui pourrait être extrapolé aux infrastructures industrielles et de transport.

3.2 Les jeux de données d'infrastructures disponibles dans ecoinvent

La base de données ecoinvent propose un grand nombre d'inventaires spécifiques aux infrastructures, classés par secteurs (énergie, transport, matériaux, etc.). Plus précisément, il a été identifié 533 jeux de données d'infrastructures répartis dans quatre grandes catégories :

- Matériaux (175 jeux de données) ;
- Énergie (154 jeux de données) ;
- Transport (137 jeux de données) ;
- Traitements (67 jeux de données).

Ces inventaires incluent les phases principales du cycle de vie des infrastructures : extraction et transformation des matières premières, transports, construction et maintenance, et gestion de fin de vie.

L'analyse approfondie révèle plusieurs limites majeures de ces inventaires d'infrastructures :

- Ancienneté : la majorité des inventaires datent d'avant 2010, entraînant des risques élevés d'obsolescence et d'écarts significatifs avec les pratiques actuelles.
- Incertitudes et manque de précision : une grande partie des inventaires comporte des avertissements explicites quant à la forte incertitude des résultats obtenus. Ces inventaires sont souvent basés sur des estimations génériques, peu représentatives des réalités spécifiques.
- Défauts structurels : de nombreux inventaires reposent directement ou indirectement sur quelques jeux de données génériques fondamentaux (« building, hall, steel construction », « building, hall, wood construction » ou encore « building, multi-storey »), limitant fortement leur adaptabilité aux cas spécifiques et leur représentativité réelle.
- Composition approximative : certains inventaires ne reflètent pas correctement les compositions réelles (par exemple, présence ou absence erronée de certains matériaux comme le cuivre dans les structures métalliques).

Recommandations méthodologiques

Face à ces constats, l'étude formule les recommandations suivantes pour les praticiens :

- Dans les ACV produits et services dont l'infrastructure n'est pas centrale,
 - o Utiliser les inventaires d'infrastructures d'ecoinvent tels quels sous réserve que leur contribution aux impacts totaux reste faible.
 - o Lorsque la contribution est significative (**>5-10% sur au moins 1 indicateur pertinent pour l'étude**), identifier clairement et documenter les incertitudes associées à ces inventaires pour assurer la transparence et la robustesse des résultats d'ACV.
- Préférer, si possible, des données plus récentes et spécifiques aux cas d'études lorsque les infrastructures représentent un poste significatif.

Ces recommandations visent à améliorer la fiabilité des évaluations environnementales en limitant les risques méthodologiques liés à l'utilisation de données d'infrastructures génériques.

4 Enjeux identifiés pour la réalisation d'ACV des infrastructures

Les enjeux présentés dans cette section sont basés sur :

- L'analyse de la littérature ;
- L'expertise ACV de RDC Environnement ;
- Les réunions de travail avec Artelia (expertise d'ingénierie d'installations industrielles) ;
- Les cas d'études (réalisés en partenariat avec Artelia) ;
- Les échanges en comité de pilotage avec les membres de SCORE LCA.

4.1 Enjeux associés à l'étape « Objectif et champs de l'étude »

Estimer quantitativement le/les service(s) délivré(s)

L'estimation des services délivrés par une infrastructure implique de quantifier la valeur qu'elle apporte tout au long de sa durée de vie. Cela nécessite de calculer un amortissement basé sur l'utilisation réelle ou projetée de l'infrastructure, ce qui peut varier selon le temps et les conditions d'exploitation. Par exemple, une route utilisée intensivement pour le transport de marchandises aura une contribution différente à analyser par rapport à une route rurale peu fréquentée. De plus, la multifonctionnalité de certains biens capitaux doit être prise en compte : une usine peut produire divers types de biens au cours de son cycle de vie, ou un bâtiment peut avoir des usages multiples (bureaux, espaces de stockage, etc.). Ces éléments complexes exigent des méthodes d'évaluation flexibles et adaptées à chaque contexte.

Définir les frontières du système

La définition des frontières du système dans une ACV est cruciale pour assurer une analyse cohérente et permettant la comparabilité. Il s'agit de déterminer quelles étapes du cycle de vie sont incluses (construction, exploitation, maintenance, fin de vie) et d'identifier les composantes de l'infrastructure. Par exemple, pour un bâtiment, cela inclut non seulement les murs et les toitures, mais aussi les équipements internes (machines), ainsi que les éléments connexes comme les routes d'accès ou les parkings.

Caractériser le système étudié

Chaque type d'ouvrage a ses spécificités techniques, terminologies et besoins particuliers, ce qui rend essentielle la collaboration avec des experts de différents domaines, par exemple, un ingénieur spécialisé en bâtiment ou un spécialiste en infrastructures routières ou ferroviaires. Le praticien ACV, qui réalise l'analyse, doit s'immerger dans le contexte du projet pour bien en comprendre les spécificités, en travaillant avec des ingénieurs, architectes ou experts métiers, afin de garantir une représentation/modélisation fidèle du système.

Un enjeu de modélisation pour les ACVistes est de bien comprendre les descriptifs fournis. Le vocabulaire du bâtiment et de la construction est en effet un vocabulaire particulièrement détaillé pour chacun des corps de métiers et celui-ci peut différer d'un secteur à l'autre. De plus le vocabulaire des différentes phases d'un projet de construction n'est pas standardisé. Les ACVistes devraient donc s'assurer qu'il a bien compris et modélisé les installations et faisant confirmer ses hypothèses et modèles, en particulier pour les parties à contribution majeure.

Prendre en compte les spécificités géographiques et climatiques locales

Les impacts environnementaux d'une infrastructure peuvent fortement dépendre de son implantation géographique. Le climat influence la durabilité des matériaux (par exemple, les cycles de gel et dégel affectent les routes), le type de sol peut influencer les techniques de fondation, et l'hydrologie locale joue un rôle crucial dans la gestion de l'eau et le drainage. Les recommandations des ACVistes devraient intégrer ces spécificités

et aller plus loin que les recommandations génériques pour des installations. Les infrastructures situées dans des zones naturelles protégées nécessitent également une attention particulière pour limiter les perturbations sur les écosystèmes environnants.

4.2 Enjeux associés à la phase d'inventaire

Chronophage de la phase d'inventaire d'un système complexe

Les constructions des infrastructures font appel à de **nombreux corps de métier, matériaux et équipements**. Compte tenu du nombre élevé de composants dans une infrastructure et de **la dissémination des informations parmi les acteurs du projet**, la phase d'inventaire d'une ACV d'infrastructure est souvent très chronophage. La collecte des données requiert des échanges avec des spécialistes multiples (architectes, ingénieurs structures, électriciens, etc.), une vérification approfondie des sources et parfois des hypothèses sur des données manquantes. **Cela constitue un véritable défi organisationnel**.

Par exemple, la construction d'un pont mobilise des ingénieurs civils, des spécialistes du béton et des fournisseurs d'acier, impliquant des matériaux et des processus divers. Établir un modèle incluant tous les éléments pertinents utilisés et identifier les flux associés demande une collecte de données rigoureuse (qui inclut de nombreux allers-retours et confirmations).

Travailler avec des sources hétérogènes

Les données nécessaires à l'ACV proviennent souvent **d'acteurs variés**, comme les maîtres d'œuvre, les maîtres d'ouvrage ou les fournisseurs, qui utilisent des formats, des hypothèses ou des méthodes différents. Ces disparités peuvent engendrer des incohérences dans les informations collectées (par exemple, des divergences dans les quantités ou les spécifications des matériaux), nécessitant un travail d'harmonisation pour assurer la fiabilité des résultats.

Les praticiens ACV doivent donc collaborer étroitement avec les équipes de maîtrise d'œuvre pour structurer les données, tout en utilisant des outils adaptés pour intégrer ces informations dans une modélisation environnementale cohérente. Un exemple de données utilisées par la maîtrise d'œuvre est présenté ci-dessous.

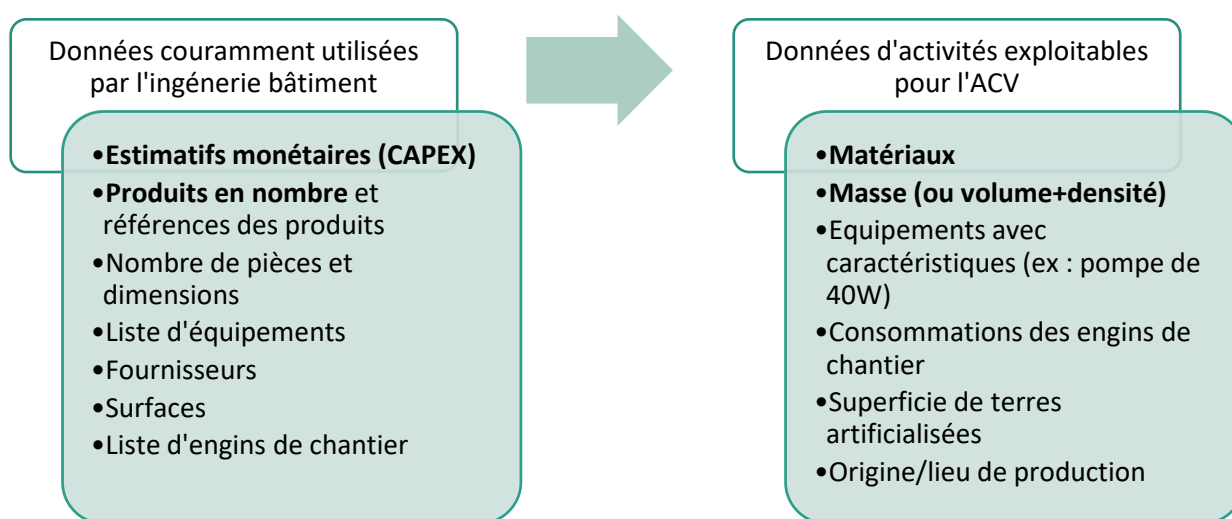


Figure 1 : Illustration du besoin de "conversion" entre les données employées par l'ingénierie bâtiment et les données exploitables par l'ACV

Travailler avec des données non définitives

Au début d'un projet, les informations disponibles **sont souvent incomplètes et approximatives, évoluant au fur et à mesure de l'avancement**. Par exemple, les plans d'un bâtiment peuvent changer, entraînant des modifications dans les matériaux ou équipements prévus. Selon l'objectif de l'étude et son déroulé par itérations ou non, l'analyste doit donc gérer les **incertitudes provisoires en estimant l'incertitude** associée aux données.

Les données disponibles par classe de définition de projet ainsi que leur précision sont présentées ci-après.

Tableau 1 : Extrait du (AACE International Recommended Practice No. 18R-97)

Classe AACE	Classification ANSI	Utilisation courante	Définition du projet	Fourchette attendue de précision	
				Coût minimal réel prévu	Coût maximal réel prévu
Classe 5	Ordre de grandeur	Planification stratégique ; examen du concept	0 à 2 %	-50 à -20%	+30 à +100%
Classe 4		Etude de faisabilité	1 à 15 %	-30 à -15%	+20 à +50%
Classe 3	Budgétaire	Budgétisation	10 à 40 %	-20 à -10%	+10 à +30%
Classe 2	Définitif	Appels d'offres ; contrôles de projet ; gestion des changements	30 à 75 %	-15 à -5%	+5 à +20%
Classe 1			65 à 100 %	-10 à -3%	+3 à +15%

Travailler avec des données d'activité manquantes / des hypothèses fortes

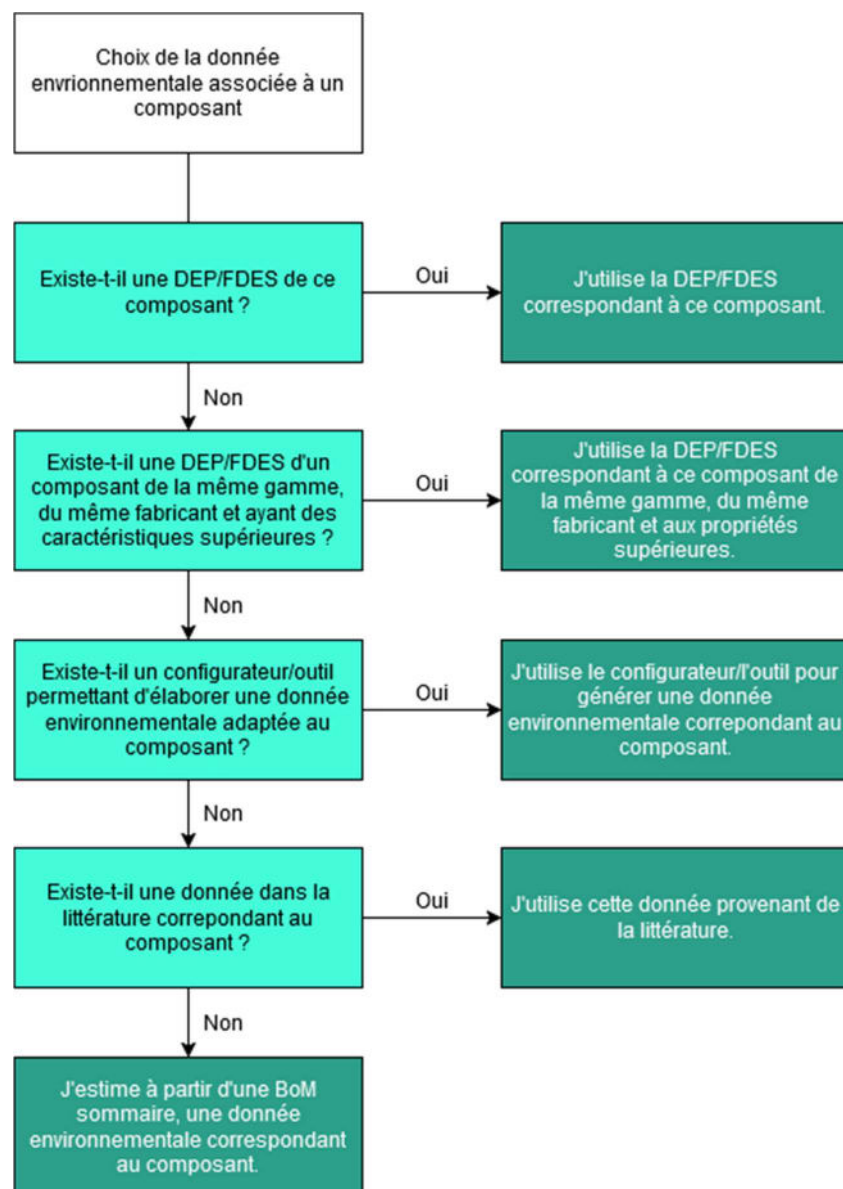
Certaines données nécessaires à l'analyse peuvent être absentes, particulièrement pour des matériaux ou **équipements spécifiques (multi-matériaux)**. Dans ces cas, des hypothèses doivent être formulées pour combler les lacunes, mais ces hypothèses peuvent avoir un impact significatif sur les résultats.

Par exemple, une estimation erronée de la durée de vie d'un matériau peut influencer fortement le calcul des impacts environnementaux.

Utiliser les données d'inventaires incomplètes, génériques ou imprécises

Les bases de données utilisées dans les ACV ne couvrent pas certaines spécificités des matériaux, équipements ou méthodes de construction. Par exemple, les étapes de transformation d'un acier (et en particulier les pertes) sont généralement basées sur les données génériques disponibles dans les bases de données ACV mais les données réelles peuvent s'écarter substantiellement des valeurs génériques. Si les activités de transformation ne sont pas négligeables (avec une modélisation conservatrice), il convient d'essayer d'affiner les données ou de reconnaître une incertitude substantielle sur ce point.

Procédure de recherche de données d'inventaires (inspirée de la procédure de la base de données INIES) pour l'ACV des bâtiments résidentiels dans le cadre de la RE2020



Caractériser un système ayant une longue durée de vie

Comme les infrastructures ont une durée de vie allant de 20 à 100 ans, une partie des éléments la composant seront remplacés durant la vie de l'infrastructure. Il est nécessaire d'établir des durées de vie différentes selon les matériaux / équipements.

Par exemple, les revêtements routiers peuvent nécessiter plusieurs cycles de réfection, et les équipements électriques peuvent être remplacés pour intégrer des technologies plus récentes. L'évaluation devrait donc intégrer ces dynamiques temporelles.

Identification d'outils pour faciliter la modélisation

La complexité de modéliser des infrastructures complètes rend souhaitable le développement ou l'utilisation d'outils adaptés. Certains outils existent déjà comme les configurateurs FDES, l'outil CIOGEN (Calcul des Impacts des Ouvrages de GENie civil, utilisant la base de données DIOGEN) ou encore le BIM en application notamment d'ISO 22057. Le **BIM (Building Information Modeling)** est une méthode de travail améliorant la collaboration en **s'appuyant sur une ou des maquette(s) numérique(s) renseignées représentant l'ouvrage en trois dimensions** (Fédération Française du Bâtiment, 2021). Le BIM complète la modélisation 3D classique

avec des informations supplémentaires (références des pièces/éléments, matériaux, poids, temporalité de livraison, etc.). Cependant ces outils présentent chacun des lacunes :

- Les configurateurs FDES ne s'appliquent qu'à certains éléments bien définis ;
- L'outil CIOGEN ne s'applique qu'aux ponts type SETRA (Services d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes) ;
- La qualité et précision du modèle BIM dépend des usages des acteurs du bâtiment. Il est souvent incomplet.

Il y a donc encore de la place pour des améliorations ou de nouveaux outils.

Il importe d'inclure la maintenance dans la modélisation car elle peut avoir des impacts significatifs, qui dépendent de l'ouvrage, des technologies mises en œuvre.

- Pour une usine, le renouvellement des équipements va dépendre de leur usage et de leur usure ;
- Pour un barrage, les opérations de liées à l'accumulation de sédiments dépendent de la rivière et des systèmes mis en œuvre pour éviter leur accumulation ;
- Pour une route, la maintenance va dépendre de l'usure (qui dépend elle-même de l'usage / la fréquentation / la localisation), de la nature du bitume, mais également de la manière dont les sous-couches ont été mises en œuvre.

Modéliser des étapes du cycle de vie qui auront lieu dans le futur, en particulier la fin de vie de l'infrastructure.

Modéliser la fin de vie d'une infrastructure est complexe, car cela implique de gérer les incertitudes sur les évolutions technologiques, les méthodes de démolition, les filières de gestion des déchets ainsi que des bénéfices liés au recyclage (les matériaux futurs devraient être nettement moins intensifs en carbone). Par exemple, une infrastructure conçue aujourd'hui pourrait être démantelée à une époque où les techniques de recyclage sont radicalement différentes, influençant les impacts environnementaux associés.

L'étude SCORE LCA sur l'ACV dynamique (SCORE LCA n°2023-02) traite de ce sujet en particulier. Dans cette étude, la pratique classique de l'ACV est détaillée pour en présenter les écarts par rapport à la réalité : *« En effet, il est coutume en ACV conventionnelle de ramener les impacts liés à la fin de vie au temps t_0 . Pour les bâtiments, la fin de vie a généralement lieu plusieurs dizaines d'années après la construction de celui-ci. Ainsi, pour des matériaux dont les étapes de production sont particulièrement importantes (ex. acier, béton...), allouer les bénéfices liés au recyclage de ces matériaux au temps t_0 de production contrebalance les impacts défavorables liés aux étapes de production. Inversement, pour des matériaux biosourcés (ex. le bois) dont les étapes de fin de vie (généralement de l'incinération) sont nettement plus impactantes que les étapes de production (croissance par stockage de CO₂), ramener les impacts de fin de vie au temps t_0 a pour effet d'obtenir in fine des résultats comparables entre les deux types matériaux. »*

4.3 Enjeux associés à la phase de caractérisation des impacts

Travailler avec des catégories d'impacts largement utilisées dans les ACV bâtiments en prenant en compte les enjeux régionaux

Les travaux de la Commission européenne dans le cadre du PEF (Product Environmental Footprint) et la publication de la mise à jour de la norme EN 15804+A2 en 2019 ont tendance à uniformiser les pratiques en ACV pour le choix des catégories d'impacts. Afin de permettre au praticien d'utiliser des données environnementales (DEP) publiées, il est nécessaire d'utiliser les mêmes catégories d'impacts pour l'ACV des infrastructures.

Le nombre d'indicateurs disponibles est suffisamment large pour permettre de prendre en compte les spécificités d'un projet et focaliser l'analyse approfondie sur un nombre plus restreint mais considéré comme pertinent pour l'étude. Par exemple, pour un bâtiment situé en zone aride, l'impact sur l'eau douce peut être plus significatif que d'autres catégories souvent prioritaires dans des zones tempérées.

Travailler avec des méthodes de caractérisation qui évoluent dans le temps

Les référentiels et normes encadrant l'ACV évoluent régulièrement, avec l'apparition de nouvelles méthodes de caractérisation des impacts ou la mise à jour des facteurs existants. Par exemple, les derniers travaux du GLAM (Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators and Methods) font évoluer les indicateurs d'épuisement des ressources et favorisent l'utilisation d'indicateur de dommage (comme les impacts sur les écosystèmes/la biodiversité). Cela implique dès lors une difficulté pour comparer des ACV réalisées à des moments différents, car les données et méthodes employées sont souvent différentes.

4.4 Enjeux associés à l'interprétation des résultats

Travailler de manière itérative afin de focaliser les efforts sur ce qui est important pour les conclusions recherchées

L'approche itérative est essentielle en ACV, car elle permet de concentrer les ressources humaines sur les aspects qui influencent le plus les résultats et les conclusions. L'analyse préliminaire (première itération) identifie les étapes ou matériaux ayant le plus d'impact, afin d'approfondir leur évaluation dans les itérations suivantes. Cela permet d'éviter un surinvestissement inutile dans des aspects marginaux et de ne pas garder des incertitudes majeures, ce qui augmente la pertinence de l'analyse.

Faire le lien entre la qualité des données et la pertinence des hotspots identifiés

La qualité des données utilisées dans une ACV conditionne directement la fiabilité des résultats obtenus, notamment pour identifier les hotspots environnementaux (les éléments ayant les impacts les plus élevés). Des données de mauvaise qualité ou approximatives peuvent fausser l'identification de ces points critiques, conduisant à des évaluations tronquées.

Les composantes sous-estimées dans une ACV posent un problème méthodologique majeur, car elles peuvent passer inaperçues et biaiser les résultats finaux. À l'inverse, les éléments surestimés sont souvent plus faciles à repérer grâce à une vérification croisée ou des comparaisons avec des bases de données standards. Par exemple, un équipement dont les impacts sont absents ou fortement minimisés dans l'inventaire pourrait être négligé, faussant ainsi les priorités d'éco-conception ou de mitigation des impacts.

Interpréter l'indicateur d'épuisement des ressources minérales et métalliques

Cet indicateur est très important pour les infrastructures et il importe donc d'y prêter une attention particulière.

- Privilégier l'utilisation de la méthode « Future Welfare Loss » recommandée par le GLAM, pour avoir des résultats qui sont plus en accord avec les évaluations qualitatives et donc plus faciles à interpréter ;
- Corriger les inventaires produits avec une méthode de caractérisation différente de celle de l'étude ;
- Vérifier les allocations par défaut incluses les bases de données, car certaines ne respectent pas le bilan massique (co-extraction) concernant l'allocation des intrants. Par exemple, dans les données d'arrière-plan, la façon dont les émissions ou consommations de ressources sont réparties entre plusieurs co-produits ou systèmes peut changer significativement les résultats. Cela demande une transparence et une vigilance accrues pour garantir que l'indicateur reflète correctement la réalité du système étudié.

Obtenir une qualité et une précision suffisantes lorsque l'objectif de l'ACV est de faire de l'éco-conception des infrastructures

Lorsque l'ACV est utilisée comme outil d'éco-conception, il est essentiel d'avoir des données détaillées et précises sur les impacts environnementaux des principaux matériaux, technologies et processus envisagés. Si elle n'est pas réalisée avec précision, cela peut amener à sélectionner des solutions moins optimales d'un point de vue des impacts environnementaux. Lors d'une éco-conception, il est aussi nécessaire d'identifier les influences des éléments de l'infrastructure les uns sur les autres. Par exemple, si une cuve est choisie dans un matériau plus lourd que celui initial, mais aux impacts environnementaux plus faibles, il sera nécessaire de quantifier les impacts environnementaux liés au renforcement des poutres soutenant la cuve. Mais inversement, la cuve plus lourde peut avoir une plus longue durée de vie ou être plus facile à entretenir.

5 Cas d'études

Trois cas concrets détaillés permettent d'illustrer l'application pratique des recommandations :

1. Installation industrielle chimique ;
2. Usine de production de batteries ;
3. Ligne de tramway.

Ces cas illustrent la mise en œuvre effective des fiches méthodologiques proposées dans le rapport.

Les données ecoinvent sont pertinentes en première itération et suffisent en général pour les ACV produits à condition d'adapter l'inventaire à la situation étudiée.

Cependant, les limites de ces données génériques deviennent délicates, voire inacceptables, lorsque l'on passe à des analyses plus approfondies. De plus, elles introduisent une incertitude importante sur l'indicateur d'utilisation des ressources minérales et métalliques (sensible au type de métaux ou d'alliages employés).

Les modélisations avec des données de terrain pour l'itération 2 (et 3 pour l'indicateur d'utilisation des ressources minérales et métalliques) permettent de réduire significativement l'incertitude en représentant mieux la diversité des éléments de l'infrastructure.

L'**itération 2**, qui intègre des quantités de matériaux pour les ensembles lourds, et l'**itération 3**, avec une modélisation affinée par élément, montrent que l'usage de **données spécifiques de terrain** pour les éléments lourds améliore significativement la précision.

Le passage à l'itération 3, montre des écarts plus faibles sur l'indicateur de changement climatique confirmant que le passage à l'itération 2 pourrait suffire à remplir les objectifs de quantification simple d'un projet.

Tableau 2 : Temps de travail par itération et effet sur les résultats pour les trois cas d'études

	CC (EF3.1)	ADP 2002 (EF3.1)	FWL (GLAM 3)	Temps supplémentaire pour passer à l'itération suivante
Chimie fine				
Itération 1	100%	100%	100%	1 h
Itération 1.1 – Correction sur base de la production	2%	2%	2%	quelques heures supplémentaires (total itération 1 : 0.5 j)
Itération 1.2 – Correction surfacique	0.3%	0.3%	0.3%	
Itération 2	0.3%	0.1%	0.2%	×10
Itération 3	0.3%	0.1%	0.2%	×2.5
Batteries				
Itération 1	100%	100%	100%	1 h

	CC (EF3.1)	ADP 2002 (EF3.1)	FWL (GLAM 3)	Temps supplémentaire pour passer à l'itération suivante
Itération 1.1	22%	22%	22%	quelques heures supplémentaires (total itération 1 : 0.5 j)
Itération 2	4%	0.2%	3%	×13
Itération 3	9%	3%	11%	×2.3
Tramway				
Itération 1	100%	100%	100%	1 h
Itération 1.1	123%	223%	161%	quelques heures supplémentaires (total itération 1 : 0.5 j)
Itération 2	493%	464%	405%	×6
Itération 3	628%	477%	499%	×2

Même avec une collecte de données à bonne source, il reste des éléments manquants significatifs dans la collecte de données.

Dans le cadre des trois études de cas présentées, la collecte des données présente les manquements suivants :

- **Caractéristiques techniques détaillées des équipements et matériaux** : type précis d'acier (cette information est quand même parfois précisée), classe exacte de ciment (cette information est quand même parfois précisée), composition détaillée des matériaux composites, contenu en recyclé, composition des systèmes multi-matériaux ;
- **Précision sur les techniques de mise en œuvre des matériaux** : consommations énergétiques réelles pendant les phases de construction ;
- **Estimations** insuffisamment intégrées **des pertes sur chantier** et de la logistique détaillée : transport, méthodes de pose. Si les pertes sur chantier peuvent être prises en compte, il faut être vigilant à ne pas les double-compter. On peut soit avoir des données « d'approvisionnement de matériaux » qui contiennent déjà les pertes, soit des données de « mise en œuvre » qui ne contiennent pas les pertes. Si on utilise des données « d'approvisionnement de matériaux », il ne faut pas ajouter en plus des pertes puisqu'elles sont déjà prises en compte ;
- **Informations sur les conditions réelles de maintenance et de remplacement des équipements** sur toute la durée de vie de l'infrastructure. Dans les CAPEX estimés par la maîtrise d'œuvre, la maintenance courante est incluse (e.g. maintenance légère nécessaire tous les 4 à 6 ans pour les infrastructures de procédés industriels). Cependant la maintenance de grande envergure est exclue des CAPEX estimés (e.g. maintenance nécessaire tous les 20 à 30 ans pour les infrastructures de procédés industriels).

Il y a un intérêt majeur à approfondir la modélisation des infrastructures, quand elles sont l'objet même de l'ACV.

Les études de cas confirment l'intérêt majeur d'une démarche ACV structurée pour la modélisation des infrastructures. Elles soulignent aussi clairement que la fiabilité et l'utilité des résultats obtenus dépendent de la qualité et de la précision des données utilisées ainsi que de la pertinence du cadre méthodologique adopté. Ces points constituent les axes prioritaires à intégrer dans les futures démarches ACV des infrastructures pour les rendre réellement utiles à la prise de décision, l'éco-conception et l'optimisation environnementale des projets.

6 Recommandations

Recommandation 1 : Adopter une démarche itérative progressive

Il est recommandé d'utiliser une première itération simplifiée avec des hypothèses majorantes de l'impact (notamment via les bases de données ACV) pour identifier les postes à fort impact. Les données d'inventaires des bases de données pourront être adaptées via l'utilisation de facteurs correctifs basés sur le paramètre le plus pertinent pour l'étude (surface, longueur de voie, quantité produite annuellement...). Cette première modélisation sert de base pour des itérations suivantes plus détaillées, intégrant des données spécifiques et de meilleure qualité là où nécessaire.

La seconde itération intégrera les données spécifiques du projet pour les ensembles lourds (béton, ciment, acier, aluminium, machines) et l'itération 3 focalisera sur l'affinage des éléments lourds comme le grade de matériau, l'origine, la quantité de matériaux recyclés incorporés.

L'approche itérative est présentée en figure à la fin de ce chapitre.

Recommandation 2 : Une définition claire des objectifs et du champ de l'étude permet de calibrer l'effort à fournir pour l'ACV des projets et infrastructures

L'unité fonctionnelle doit refléter le service réel de l'infrastructure (transport, hébergement d'activité, traitement, etc.), en intégrant des paramètres tels que durée de vie, intensité d'usage, localisation et performance attendue.

Les infrastructures fournissent des services qui doivent être quantifiés dès les premières étapes de l'étude. Ces informations sont trop peu détaillées dans les bases de données, ce qui rend donc difficile toute comparaison et réutilisation ultérieure des données.

La durée de vie de l'infrastructure est également clé. Cette information est généralement disponible dans les documents à disposition du maître d'œuvre. Afin de ne pas négliger la maintenance, dont les principaux impacts se situent au moment du remplacement de l'élément de l'infrastructure, des durées de vie différenciées par grands éléments de l'infrastructure pourront être établies au moment de la collecte de données.

Recommandation 3 : Travailler avec une vision multi-indicateurs en utilisant prioritairement les catégories d'impacts recommandées par l'EN 15804+A2 :2019, ainsi que l'indicateur Future Welfare Loss pour les ressources

De nombreuses DEP sont publiées par les fabricants de matériaux et équipements du bâtiment. Afin de pouvoir utiliser les impacts environnementaux de ces éléments, l'étude doit employer les mêmes méthodes.

Par ailleurs, la vision multi-indicateur permet de ne pas passer à côté de certains contributeurs forts qui n'apparaîtraient pas avec l'indicateur de changement climatique.

C'est particulièrement vrai avec l'indicateur d'utilisation des ressources minérales et métalliques qui sera particulièrement sensible à l'utilisation de ressources métalliques non ferreuses qui sont rarement quantifiées dans les premières itérations de calcul. L'utilisation d'un second indicateur (comme l'indicateur Future Welfare Loss diffusé par le GLAM ³ pour les études de cas) permet également de renforcer (améliorer) l'interprétation de cette catégorie d'impact très sensible à certaines hypothèses de modélisation dans les bases de données.

² <https://www.lifecycleinitiative.org/activities/life-cycle-assessment-data-and-methods/global-guidance-for-life-cycle-impact-assessment-indicators-and-methods-glam/>

Recommandation 4 : Limiter l'usage des données des bases de données aux cas où leur impact est marginal

Les données ecoinvent infrastructures, souvent anciennes et peu détaillées, peuvent être utilisées uniquement si l'infrastructure ne représente qu'une faible part des impacts globaux. Ce sera donc le cas dans la plupart des ACV produits.

Les études de cas sur les infrastructures industrielles ont montré que l'utilisation des données ecoinvent par défaut produit une surestimation des impacts de 1 à 2 ordres de grandeur (par rapport à la réalité quantifiée dans les études de cas avec les itérations 2 ou 3). L'adaptation des données ecoinvent via un facteur correctif pour obtenir une infrastructure amortie sur la même quantité de produits sortants ou la même surface produit une surestimation de 0 à 1 ordre de grandeur.

Cette recommandation ne peut être établie pour le cas des infrastructures de transport en se basant sur le cas d'étude de la ligne de tramway qui montre une sous-estimation d'un facteur 5 de la donnée ecoinvent par rapport à la réalité.

Recommandation 5 : Structurer la collecte de données par phase projet et collaborer étroitement avec les acteurs techniques

La collecte des données lors d'une ACV d'infrastructure implique généralement une grande diversité de sources (CCTP, DQE, DOE, maquettes BIM...) et une multiplicité d'acteurs impliqués (maîtres d'œuvre, maîtres d'ouvrage, fournisseurs).

Les documents disponibles (et donc la granulométrie des données disponibles) dépendent du stade d'avancement du projet (APS, APD, PRO, construction, etc.).

La collecte de données sera facilitée par la mise en place d'un référentiel commun de données ou un tableau de correspondance systématique entre les formats techniques des équipes d'ingénierie (volumes, mètres linéaires, etc.) et les formats requis pour l'ACV (masses, type et grade des matériaux, contenu en recyclé, origine).

Une infrastructure pouvant être constituée de très nombreux petits éléments, il est nécessaire de passer par une phase de regroupement par catégories, sous-catégories afin de faire l'effort de collecte de données détaillée sur un élément représentatif de la sous-catégorisation créée.

Recommandation 6 : Hiérarchiser les efforts de collecte de données selon les hotspots

La phase d'inventaire étant chronophage, il convient de concentrer les efforts sur les éléments ayant le plus d'influence environnementale et d'utiliser des approximations ou des valeurs génériques pour les postes mineurs ou communs à plusieurs alternatives. L'approche itérative doit donc être précédée d'une analyse des hotspots et d'analyses de sensibilité simples à priori afin de valider si les efforts de collecte de données supplémentaires permettront un réel gain en précision dans les résultats finaux.

Recommandation 7 : intégrer l'écoconception des infrastructures dès les premières phases du projet

L'écoconception des infrastructures est grandement facilitée lors des toutes premières phases du projet (programmation, conception préliminaire, esquisse), c'est-à-dire tant que les marges de manœuvre sont maximales et que les grandes orientations ne sont pas figées.

Une fois que le projet est entré dans des phases d'avant-projet ou de projet détaillé, la capacité à influencer sur la conception et donc sur les impacts environnementaux est fortement réduite.

Il est indispensable d'adopter une approche globale :

- Les choix de conception doivent être évalués à l'échelle du système (et pas élément par élément), car la modification d'un paramètre (par exemple, un changement de matériau) peut avoir des conséquences sur les autres éléments (structure, maintenance, usages, coût global, etc.).
- Les arbitrages doivent donc porter sur des ensembles cohérents d'options techniques, et non sur des modifications ponctuelles.

Le recours à des modélisations simplifiées sera donc nécessaire et devra être renforcé par l'analyse de sensibilité pour identifier si les choix d'écoconceptions pourraient être remis en cause lors d'obtention de données plus précises en phases aval du projet.

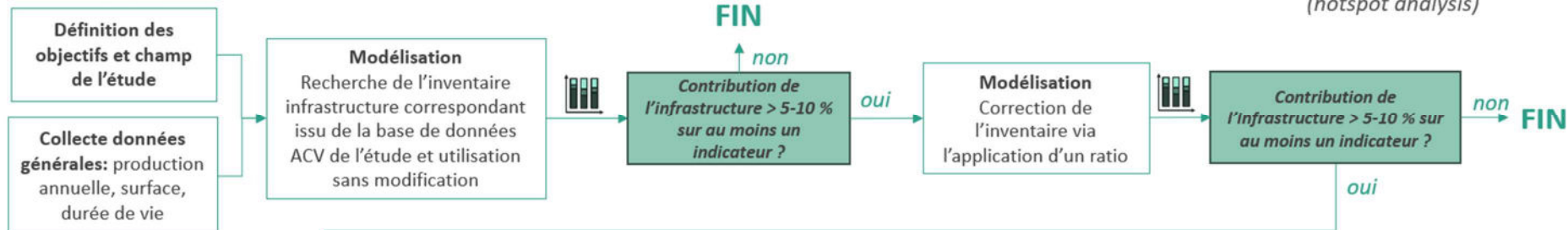
Recommandation 8 : Structurer les données de projet pour faciliter l'ACV et renforcer l'utilisation d'outils numériques avancés (BIM)

Les maîtres d'œuvre doivent être encouragés à structurer les données dès la conception selon les besoins de l'ACV (masses, types de matériaux, spécificités techniques), via des DQE ou exports BIM normalisés, pour éviter des allers-retours coûteux et limiter les hypothèses.

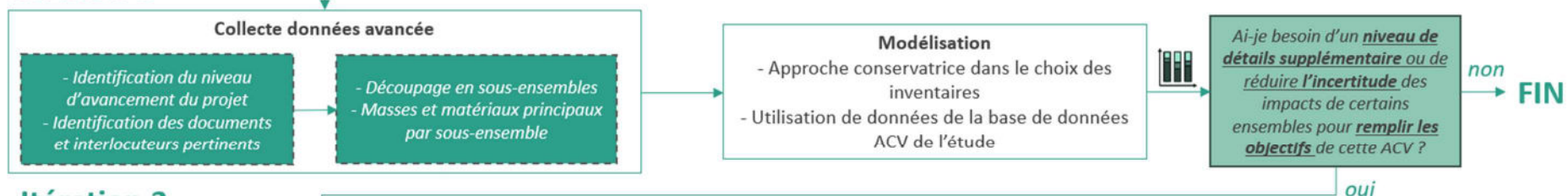
Il est nécessaire de développer l'interopérabilité entre les maquettes BIM et les outils d'ACV existants, pour gagner en précision, rapidité et efficacité des évaluations. Dans un premier temps, les maquettes BIM pourraient à minima permettre de quantifier les équipements récurrents/normés (fondations, tuyauterie, ...) et les équipements spécialisés seraient quantifier « à la main ».

A terme, l'ACV pourrait être directement intégrée au sein des outils de modélisation numérique du bâtiment (BIM), facilitant ainsi la mise à jour rapide des résultats d'impact environnemental au fur et à mesure de l'évolution du projet.

Itération 1



Itération 2



Itération 3

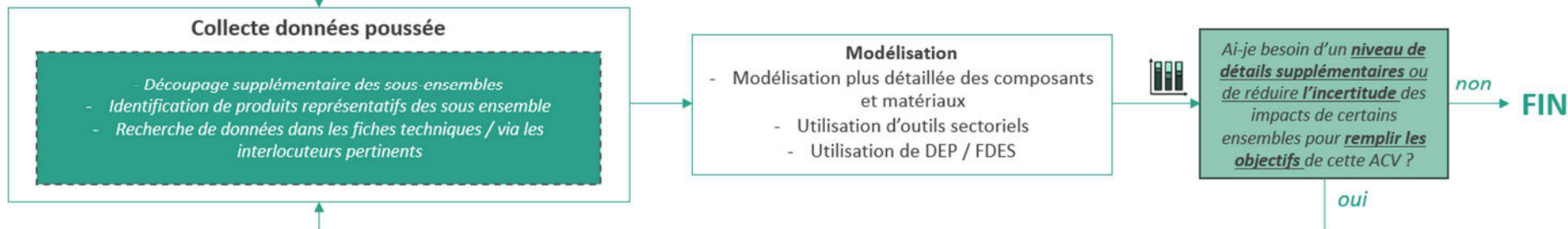


Figure 2 : L'approche itérative pour la modélisation des infrastructures en ACV