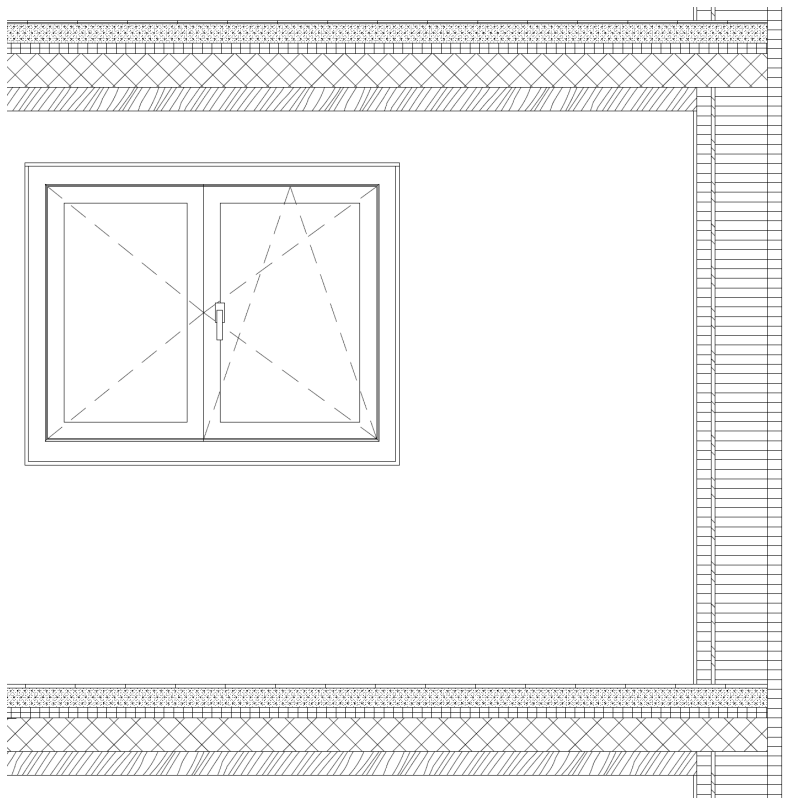




Rapport intermédiaire du 28 novembre 2025

TypoBuildZero

Typologies constructives net-zéro



Source: Lutz Architectes, 2015



h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

ENERGY

Institute of Applied Research
in Energy Systems

Prestataire de subvention :

Office fédéral de l'énergie OFEN
Pulverstrasse 13
CH-3063 Ittigen
www.recherche-energetique.ch

Cofinancement :

Smart Living Lab
CH-1700 Fribourg
www.smartlivinglab.ch

Bénéficiaires de la subvention :

HEIA-FR, Institut ENERGY
Smart Living Lab, Halle Bleue, BF1B_43
Passage du Cardinal 13B
CH-1700 Fribourg
<https://www.heia-fr.ch/fr/recherche-appliquee/instituts/energy/>

HEPIA, Institut inPACT
Rue de la Prairie 4
1202 Genève
<https://www.hesge.ch/hepia/rad/inpact>

Auteurs :

Sandro Trevisani, Institut ENERGY, sandro.trevisani@hefr.ch
Thomas Jusselme, Institut ENERGY, thomas.jusselme@hefr.ch
Sarah Delmenico, Institut inPACT, sarah.delmenico@hesge.ch
Zeno Cattani, Institut inPACT, zeno.cattani@hesge.ch
Luca Cardinale, Institut inPACT, luca.cardinale@hesge.ch
Lionel Rinquet, Institut inPACT, lionel.rinquet@hesge.ch

Suivi du projet à l'OFEN :

Andreas Eckmanns, responsable du domaine de recherche Bâtiment,
andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

Numéro du contrat de l'OFEN : SI/502885-01

Les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions du présent rapport.



Résumé

Le projet TypoBuildZero s'inscrit dans le contexte de la réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre du secteur du bâtiment, en particulier pour le logement collectif. La situation de départ est marquée par un besoin croissant d'outils fiables pour concevoir des bâtiments compatibles avec les objectifs net-zéro, alors même que les bases de données de macro-composants existantes (Lignum, Bauteilkatalog, Minergie, etc.) sont hétérogènes, incomplètes et difficilement exploitables directement. L'objectif principal du projet est de mettre en place une chaîne cohérente allant des exigences réglementaires et des objectifs carbone jusqu'aux choix de composants constructifs en avant-projet, et d'évaluer l'écart entre les bilans carbone estimés en phase précoce et ceux constatés en exécution.

L'approche repose sur trois piliers. Le premier est la définition d'archétypes de bâtiments de logement (maison ou petit collectif, moyen collectif, grand collectif) alignés avec les exigences de protection incendie AEAI, afin de relier de manière systématique les contraintes feu, acoustique, thermique et carbone aux situations constructives les plus courantes. Le deuxième est la construction d'une base de données commune de macro-composants, à partir des catalogues existants, par harmonisation des formats, nettoyage et correction des données et recalcul systématique des métadonnées clés (épaisseur, masse, valeur-U, impact carbone) à partir de la composition en couches. Cette base est couplée à l'outil Autospec, qui traduit les exigences des normes et des objectifs de projet (valeur-U maximale, classes feu, cibles acoustiques, critères carbone) en filtres permettant de sélectionner et comparer des solutions constructives en phase d'avant-projet. Le troisième pilier est la mise en place d'un modèle de métrés basé sur le code eCCC-bât, afin d'assurer la comparabilité des analyses de cycle de vie entre avant-projet simplifié (SIA 2032), avant-projet TypoBuildZero et phase d'exécution pour une série de cas d'étude réels.

Les premiers résultats montrent que les catalogues de macro-composants disponibles aujourd'hui ne suffisent pas, en l'état, à garantir une conception robuste vis-à-vis des objectifs carbone : manque d'informations structurelles et acoustiques, lacunes dans certaines typologies, absence d'outils de filtrage intégrés. Le projet a toutefois permis de poser les fondations d'une base harmonisée et d'un outil d'aide à la décision utilisables par les architectes dès l'avant-projet, ainsi qu'un cadre de métrés et d'analyse de cycle de vie (ACV) assurant la comparabilité des bilans carbone le long du processus de projet. Les travaux en cours sur les 9 cas d'étude permettront de quantifier le « performance gap » entre les estimations d'AP et les résultats d'exécution, et de formuler des recommandations concrètes pour l'amélioration des catalogues de macro-composants, l'évolution des pratiques de conception et l'alignement des objectifs carbone de projet avec les trajectoires net-zéro pour le parc résidentiel suisse.



Zusammenfassung

Das Projekt TypoBuildZero ist im Kontext der drastischen Reduktion der Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor einzuordnen, insbesondere im Bereich des Wohnungsbaus und der Wohnbauten mit mehreren Einheiten. Die Ausgangslage ist geprägt von einem wachsenden Bedarf an zuverlässigen Werkzeugen, um Gebäude zu entwerfen, die mit den Net-Null-Zielen kompatibel sind, während die bestehenden Makro-Bauteilkataloge (Lignum, Bauteilkatalog, Minergie usw.) heterogen, unvollständig und nur schwer direkt nutzbar sind. Das Hauptziel des Projekts besteht darin, eine konsistente Kette aufzubauen, die von den regulatorischen Anforderungen und den Klimazielen bis hin zu den konstruktiven Bauteilentscheiden in der Vorprojektphase reicht, und die Abweichung zwischen den in frühen Phasen geschätzten THG-Bilanzen und den in der Ausführung festgestellten Werten zu bewerten.

Der Ansatz beruht auf drei Pfeilern. Der erste ist die Definition von Archetypen für Wohngebäude (Einfamilienhaus oder kleines Mehrfamilienhaus, mittleres Mehrfamilienhaus, grosses Mehrfamilienhaus), die mit den Brandschutzanforderungen des VKF abgestimmt sind, um die Anforderungen in Bezug auf Brand, Akustik, Wärme und Kohlenstoff systematisch mit den häufigsten konstruktiven Situationen zu verknüpfen. Der zweite Pfeiler ist der Aufbau einer gemeinsamen Datenbank von Makro-Bauteilen auf Grundlage der bestehenden Kataloge durch Harmonisierung der Formate, Bereinigung und Korrektur der Daten sowie die systematische Neuberechnung der wichtigsten Metadaten (Dicke, Masse, U-Wert, THG-Emissionskennwert) aus der Schichtzusammensetzung. Diese Datenbank ist mit dem Werkzeug Autospec gekoppelt, das die Anforderungen aus Normen und Projektzielen (maximaler U-Wert, Brandschutzklassen, akustische Zielwerte, THG-Kriterien) in Filter übersetzt, welche die Auswahl und den Vergleich von Konstruktionslösungen in der Vorprojektphase ermöglichen. Der dritte Pfeiler ist die Einführung eines Mengenermittlungsmodells auf Basis des elementbasierten Baukostenplans - Hochbau (eBKP-H), um die Vergleichbarkeit der Ökobilanzen zwischen dem vereinfachten Vorprojekt (SIA 2032), dem Vorprojekt TypoBuildZero und der Ausführungsphase für eine Reihe von realen Fallstudien sicherzustellen.

Die ersten Ergebnisse zeigen, dass die heute verfügbaren Makro-Bauteilkataloge in ihrem jetzigen Zustand nicht ausreichen, um eine robuste Planung in Bezug auf die Klimaziele zu gewährleisten: Es fehlen strukturelle und akustische Informationen, es gibt Lücken in bestimmten Typologien und es mangelt an integrierten Filterwerkzeugen. Das Projekt hat jedoch die Grundlage für eine harmonisierte Datenbank und eine Entscheidungshilfe gelegt, die von Architekturbüros bereits in der Vorprojektphase eingesetzt werden können, sowie einen Rahmen für Mengenermittlungen und Ökobilanzen, der die Vergleichbarkeit der THG-Bilanzen entlang des gesamten Planungsprozesses sicherstellt. Die laufenden Arbeiten an den neun Fallstudien werden es ermöglichen, den «Performance Gap» zwischen den Vorprojektabschätzungen und den Ausführungsergebnissen zu quantifizieren und konkrete Empfehlungen zur Verbesserung der Makro-Bauteilkataloge, zur Weiterentwicklung der Planungspraktiken und zur Angleichung der Projekt-Klimaziele an die Netto-Null-Absenkpfad für den schweizerischen Wohngebäudebestand zu formulieren.



Summary

The TypoBuildZero project is situated in the context of drastically reducing greenhouse gas emissions from the building sector, particularly in multi-unit residential buildings. The starting point is characterised by a growing need for reliable tools to design buildings compatible with net-zero targets, while existing macro-component databases (Lignum, Bauteilkatalog, Minergie, etc.) are heterogeneous, incomplete and difficult to use directly. The main objective of the project is to establish a consistent chain linking regulatory requirements and carbon targets to constructive component choices in the early design phase, and to assess the gap between carbon balances estimated at early stages and those observed during execution.

The approach is based on three pillars. The first is the definition of residential building archetypes (single-family or small multi-family building, medium multi-family building, large multi-family building) aligned with AEA fire safety requirements, in order to systematically connect fire, acoustic, thermal and carbon constraints to the most common construction situations. The second is the construction of a shared macro-component database, built from existing catalogues through the harmonisation of formats, cleaning and correction of data, and systematic recalculation of key metadata (thickness, mass, U-value, carbon impact) from the layered composition. This database is coupled with the Autospec tool, which translates code requirements and project targets (maximum U-value, fire resistance classes, acoustic targets, carbon criteria) into filters that enable the selection and comparison of construction solutions in the early design phase. The third pillar is the implementation of a quantity take-off model based on the eCCC-bât code, in order to ensure the comparability of life-cycle assessments between simplified early design (SIA 2032), TypoBuildZero early design and execution phase for a set of real case studies.

The first results show that the macro-component catalogues available today are, in their current state, insufficient to guarantee robust design with respect to carbon targets: structural and acoustic information is missing, there are gaps in certain typologies, and integrated filtering tools are lacking. The project has nevertheless laid the foundations for a harmonised database and a decision-support tool that can be used by architects from the early design stage, as well as a framework for quantity take-off and LCA ensuring the comparability of carbon balances throughout the project process. Ongoing work on the nine case studies will make it possible to quantify the performance gap between early design estimates and execution results, and to formulate concrete recommendations for improving macro-component catalogues, evolving design practices and aligning project-level carbon targets with net-zero trajectories for the Swiss residential building stock.



Table des matières

Résumé.....	3
Zusammenfassung.....	4
Summary	5
Table des matières	6
Liste des abréviations.....	7
1 Introduction.....	8
1.1. Contexte et motivation.....	8
1.2. Objectifs du projet.....	9
2 Activités, méthodes, résultats et discussions	10
2.1. WP1a : Références Constructives	10
2.1.1. Sélection de trois archétypes représentatifs du parc bâti suisse dédié au logement .	10
2.1.2. Définition des familles de typologies constructives	10
2.1.3. Collecte de cas d'études (AP et EXE)	10
2.1.4. Inventaire et analyse des catalogues systèmes constructifs existants et création d'une base de données de macro-composants par famille de typologies	13
2.1.5. Identifier et compléter les lacunes des bases de données de macro-composants existantes.....	14
2.2. WP1b Définition des exigences fonctionnelles des archétypes.....	17
2.2.1. Exigences Feu	17
2.2.2. Exigences acoustiques	18
2.2.3. Exigence thermique - limites et cibles	21
2.2.4. Impact carbone - limites et cibles	22
2.2.5. Outil de formulation des exigences du bâtiments et macro-composants (Autospec) .	22
2.3. WP2 et WP3 Evaluation des AP et identification des lacunes sur la base des projets détaillés	25
2.3.1. Evaluation AP et analyse de cycle de vie.....	25
3 Conclusions et perspectives.....	30
4 Bibliographie.....	31
5 Annexes.....	31
6 Contrôle interne du projet (confidentiel).....	31



Liste des abréviations

OFEN	Office fédéral de l'énergie
MC	Macro-composant
GES	Gaz à effet de serre
AP	Avant-projet (phase)
EXE	Exécution (phase)
SRE	Surface de référence énergétique
ACV	Analyse de cycle de vie
Q_H	Besoins de chaleur pour le chauffage par année
$Q_{H,li}$	Besoins de chaleur pour le chauffage par année, valeur limite
WP	Work package (lot de travaux)
MoPEC	Modèle de prescriptions énergétiques des cantons
DPI	Directives de Protection Incendie
REI	Résistance, Étanchéité et Isolation
RF	Réaction au Feu
cr	Critique
Di	indicateur de la performance acoustique
JSON	JavaScript Object Notation



1 Introduction

1.1. Contexte et motivation

Face à l'urgence climatique actuelle, il est impératif de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à la construction tout en respectant les exigences fonctionnelles des bâtiments. Les choix constructifs jouent un rôle décisif sur l'impact GES et la performance des bâtiments. Actuellement, en Suisse, la construction à base de béton prédomine, bénéficiant de processus hautement standardisés et de performances vérifiées, ce qui facilite sa mise en œuvre et réduit les coûts de construction mais limite souvent les possibilités d'innovation. Les structures en bois ou hybrides émergent comme des alternatives avec des impacts GES réduits. Mais la comparabilité fonctionnelle en termes de protection incendie, performance acoustique et capacité thermique reste souvent difficile, notamment lors des phases de conception préliminaire, où les expertises techniques à disposition des architectes sont limitées. Leur adoption à grande échelle est freinée par la nécessité d'un effort de conception et de couches constructives supplémentaires pour répondre aux normes et atteindre des performances équivalentes à celles des constructions en béton et l'impact GES de ces suppléments n'est pas mis en évidence. Les bases de données de macro-composants existantes (ex : Lignum, Bauteilkatalog) proposent des référentiels d'éléments de construction indiquant des niveaux estimatifs de performance GES, acoustique et protection incendie (Lignum). Ces référentiels sont souvent utilisés en phase d'avant-projet pour un prédimensionnement rapide des solutions constructives à mettre en œuvre. Cependant, des lacunes sont identifiées dans ces bases de données ne permettant pas un choix visé sur les exigences spécifiques aux caractéristiques et objectifs du bâtiment et ne proposant pas de manière systématique des solutions alternatives bas carbone pour les différentes couches fonctionnelles (ex : chape en ciment) pour répondre aux enjeux de la politique climatique. De plus, avec l'avancement du projet vers les phases d'exécution, le niveau de détail et de définition technique des composants augmente mais la validité ou complétude des macro-composants choisis en avant-projet n'est plus vérifiée. Cette possible incomplétude ou choix incorrect en phases préliminaires pourrait engendrer une estimation des émissions GES en avant-projet faussée. Ces différences sont souvent associées à des exigences fonctionnelles non prises en compte en avant-projet. Le projet de recherche BioLoop (HEIA-FR/HEPIA) a mis en lumière les défis liés à la protection incendie tout en explorant les implications sur l'impact GES des matériaux biosourcés. Par exemple, l'ajout de panneaux anti-feu en façade diminue fortement le bénéfice GES d'un revêtement biosourcé par rapport à un standard EPS et crépi. Sur l'acoustique, une étude préliminaire (Priore, Schulthess, and Jusselme 2024) dans le cadre du projet EconBioLA (HEIA-FR) met en évidence la complexité d'intégrer des matériaux alternatifs dans les dalles tout en respectant les normes acoustiques. Le manque d'études, de données (ex : performance de produits), logiciel pour faire des calculs précis, et de standards a été le facteur limitant principal. Pour finir, l'effet de la masse thermique des composants pour baisser les pics thermiques (ex : surchauffe estivale) est débattu dans la littérature (Verbeke and Audenaert 2018 ; Brambilla and Jusselme 2017) et presque uniquement associé au béton mais y a-t-il des alternatives avec des émissions GES réduites ? TypoBuildZero s'inscrit donc dans un contexte de données, pratiques et méthodes d'évaluation existantes pour individuer les lacunes et les freins des bases de données et de conception qui portent à des augmentations d'émissions GES dans les phases finales d'un projet et proposer des outils, méthodes, évaluations et recommandations en vue des objectifs net-zéro à venir.



1.2. Objectifs du projet

Dans l'optique d'une conception de bâtiment alignée à la stratégie net-zéro, l'objectif principal du projet vise à mettre en évidence l'impact des exigences fonctionnelles (feu, acoustique, thermique) sur les émissions GES de différentes typologies constructives et d'évaluer l'influence du choix typologique (massif, hybride, léger) sur l'impact. Quatre problématiques principales sont identifiées pour atteindre cet objectif. Premièrement, les exigences fonctionnelles (feu, acoustique, thermique et carbone) limites et/ou cibles doivent être identifiées, groupées et mises en forme pour une utilisation simple et intuitive en avant-projet. Les exigences normatives et de références varient selon la programmation et les dimensions du bâtiment et par rapport aux éléments constructifs considérés. Pour cela, un travail de définitions et de délimitation du champ d'étude devra être effectué. Deuxièmement, bien que des détails constructifs types existent (OFEN 2002 ; Lignum- Holzwirtschaft Schweiz 2015), une analyse multi critères portant sur la comparaison de ces détails à exigences fonctionnelles équivalentes et leurs impact GES n'est pas mis en évidence. Troisièmement, la définition de typologies constructives au niveau du bâtiment n'est pas claire. La SIA 380/1 définit 4 types de construction (lourde, moyenne, légère, très légère) selon la capacité thermique des éléments, en ingénierie structurelle la distinction est faite sur la base des matériaux et des éléments portant les charges (massif, ossature, poteaux-poutres, hybride) alors qu'en termes de protection incendie la construction massive se distingue par plus de 80% de l'enveloppe construite avec des matériaux incombustibles. Une revue des critères typologiques est donc nécessaire pour établir une définition qualitative des typologies constructives et leurs comparaisons en termes d'émissions GES. Pour finir, le contrôle des exigences fonctionnelles arrive souvent dans des phases de conception avancées, ce qui engendre parfois une hausse des émissions GES. Une comparaison entre le projet typologique en phase d'avant-projet et les détails en phase d'exécution servira de base pour évaluer et quantifier l'impact GES final des exigences dans les phases avancées du projet. Par rapport à l'objectif global et les problématiques énoncées ci-dessus, les objectifs intermédiaires suivant sont formulés :

- Identifier et compléter les lacunes des bases de données de macro-composants existantes ;
- Regrouper les exigences fonctionnelles pour en faciliter l'utilisation en avant-projet (création d'un arbre de décision des exigences fonctionnelles en avant-projet);
- Comprendre les raisons des différences de conception entre phase d'avant-projet (AP) avec macro-composants prédéfinis et phase d'exécution (EXE) en lien avec les exigences fonctionnelles ;
- Quantifier les émissions GES des familles typologiques sur la base des macro-composants prédéfinis (AP) et identifier les lacunes par rapports aux projets détaillés (EXE) ;
- Identifier les macro-composants responsables de ces lacunes et identifier les couches clés et les raisons de leur mise en œuvre au regard des exigences fonctionnelles ;
- Proposer des recommandations pour augmenter la fiabilité du calcul d'émissions GES en avant-projet, surtout en vue des exigences carbone/net-zéro à venir mais aussi pour valider la complétude des bases de données de macro-composants et diriger les efforts sur les macro-composants et les exigences clés.



2 Activités, méthodes, résultats et discussions

2.1. WP1a : Références Constructives

2.1.1. Sélection de trois archétypes représentatifs du parc bâti suisse dédié au logement

Trois archétypes représentatifs du parc bâti résidentiel suisse ont été sélectionnés sur la base de leur représentativité statistique issue notamment selon l'étude de Pongelli et al. (2023), ainsi que du nombre de logements et de la hauteur des bâtiments. Ces deux derniers critères reflètent également des degrés d'exigences différents en matière de protection incendie.

Les trois archétypes retenus sont :

- **Maison unifamiliale ou petit collectif** : bâtiments comptant jusqu'à deux niveaux hors-sol ;
- **Moyen collectif** : bâtiments résidentiels d'une hauteur inférieure à 11 m ;
- **Grand collectif** : bâtiments d'une hauteur comprise entre 11 m et 30 m.

Les bâtiments de grande hauteur (plus de 30 m) ne sont pas inclus dans l'étude, car ils représentent une part marginale du parc bâti suisse et sont soumis à des exigences de protection incendie spécifiques, souvent sujettes à validation par les autorités.

2.1.2. Définition des familles de typologies constructives

Les tentatives de définir de manière univoque les catégories "lourd", "léger" et "hybride" se sont révélées non-concluantes, car ces notions reposent sur des critères variables selon les standards considérés. Il en est également ressorti que ces catégories ne constituent pas un cadre déterminant ni pertinent pour le choix d'un système constructif en phase d'avant-projet.

Il s'est avéré qu'une approche fondée sur les éléments constructifs, associée à des filtres basés sur des exigences fonctionnelles soit plus adaptée aux objectifs du projet de recherche. Ainsi, les macro-composants (MC) ont ainsi été regroupés en familles fonctionnelles selon leur position dans le projet d'architecture. Les familles de MC retenues sont les suivantes : toiture, parois intérieures, parois extérieures, parois contre-terre, planchers intermédiaires, planchers sur espaces non chauffés ou extérieurs, et planchers contre-terre.

Les filtres ou "aide à la conception" proposés sont liés aux exigences techniques fonctionnelles telles que la protection incendie, les performances thermiques et acoustiques, et l'impact carbone. Le rapport intermédiaires traite de manières plus précise les exigences fonctionnelles sous le chapitre WP1b.

2.1.3. Collecte de cas d'études (AP et EXE)

À la suite de la définition des archétypes représentatifs et des familles d'éléments constructifs, la collecte des cas d'étude a été menée en collaboration avec les partenaires professionnels du projet. Des critères ont été définis selon leur influence sur les exigences acoustique, thermique et incendie des MC. La diversité des critères sur les projets permet de monter leur influence sur le dimensionnement des MC et par conséquent sur leur impact carbone. Ces critères définis sont la hauteur du bâtiment, le taux de vitrage, la compacité, le bruit extérieur et les matériaux utilisés pour les planchers, la toiture et les parois (extérieur et intérieur). À cette fin, une fiche bâtiment (Figure 1) a été élaborée afin de recenser de manière standardisée les principaux éléments constructifs (planchers, toitures, parois) ainsi que les systèmes constructifs typiques du logement (béton, bois massif, structures hybrides, brique, ossature bois, etc.), permettant de décrire rapidement chaque projet potentiellement éligible.



Figure 1: Illustration des 2 premières pages de la fiche bâtiment

Lors d'une réunion dédiée, les architectes partenaires ont été invités à compléter cette fiche pour les projets répondant aux critères préétablis, afin de constituer une première sélection couvrant l'ensemble des critères retenus. Cette étape a permis d'identifier 16 potentiels cas d'étude.

Les informations générales demandées étaient des appréciations comme « peu, moyennement ou très vitré » pour le taux de vitrage, car les architectes n'avaient pas accès aux valeurs exactes dans le temps imparti.

Ensuite une matrice avec les informations des fiches des 16 projets potentiels a été réalisée afin de réaliser un second tri plus qualitatif. Le but de cette matrice a été de maximiser le nombre de critère couvert par 9 cas, le nombre de projet maximum que l'on souhaitait retenir. L'ensemble des critères ont été couverts par un premier ensemble de 11 projets. Ensuite des informations plus détaillées comme les coupes au 1:50 et les bilans thermiques ont été demandés aux architectes afin de choisir plus précisément les 9 cas d'études finaux de cette étude.

Une fiche technique par bâtiment a été rédigée avec les informations importantes à relever pour avoir une meilleure vue d'ensemble de ces projets comme illustrer dans la Figure 2. Les fiches techniques de 11 projets présélectionnés se trouvent en annexe. Avec ces informations plus quantitatives, la matrice a également été précisée et corrigée.



Immeuble Cressy

Confignon
abta SA

Projet Immeuble Cressy, Confignon

Architecte abta SA Maître d'ouvrage Coopérative Equilibre et SCHS

Lieu rue de Miléant 5 Canton Genève

Demande d'autorisation 2008 Exécution des travaux 2009-2011

Type de logement moyen collectif Nombre de logement 12

SRE 1668.8 m² Hauteur du bâtiment 9.4 m

Compacité (A/AE) 1.27 Fs 0.96

Taux de vitrage 11.3% Degré de nuisance extérieur 50-55 DB(A)

Bilan carbone --

Structure système principale : Bois BBS (plancher et murs porteurs).
(Béton préfabriqué cage d'escalier)

- Plancher contre terre Béton
- Plancher contre non-chauf./ext. Béton
- Plancher entre étages Bois massif, (Béton dalle rez/sous-sol)
- Toiture Bois massif
- Parois extérieures Bois massif
- Parois contre terre Béton
- Parois intérieures Bois massif, (Béton cage d'escalier, clois. sèche plâtre appart.)

Coupe technique

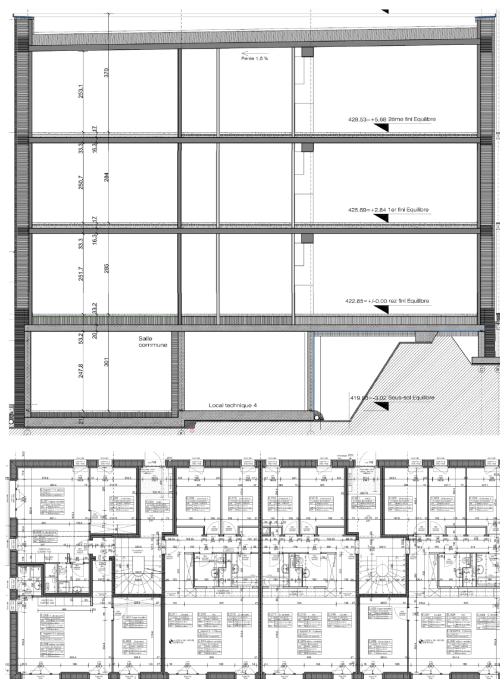


Figure 2: Illustration de la fiche technique d'un bâtiment

Pour le choix final, nous avons d'abord retenu les bâtiments qui étaient les seuls à répondre à un critère donné, ce qui permettait de les différencier nettement des autres. Nous avons ensuite sélectionné ceux présentant les valeurs extrêmes (la plus élevée et la plus faible) pour le taux de vitrage, la compacité et le niveau de bruit extérieur. Enfin, nous avons complété la sélection avec des bâtiments permettant de couvrir les critères restants tout en garantissant une diversité suffisante par rapport aux projets déjà choisis.

La diversité des architectes a également été considérée pour maintenir l'engagement des partenaires, mais ce critère n'a finalement pas eu à être appliqué : chaque architecte avait déjà au moins un projet retenu grâce aux autres critères.

Les bâtiments qui font l'objet d'étude sont :

- | | |
|--|-----------------------------------|
| - Villa à Epauvillers, JU | Architectes : Lutz Architectes |
| - Villa jumeler à Arconciel, FR | Architectes : Lutz Architectes |
| - Immeuble en PPE à Riaz, FR | Architectes : Lutz Architectes |
| - Immeuble Paix à Tour-de-Peilz, VD | Architectes : Steven de Palézieux |
| - Immeuble Cressy à Confignon, GE | Architectes : ATBA |
| - Coopérative La bistoquette à Plan-les-Ouates, GE | Architectes : ATBA |
| - Logements Grand-Esserts à Veyrier, GE | Architectes : Dreier Frenzel |
| - Logements Les Grands-Chêne à Céligny, GE | Architectes : Bunq |
| - Immeuble SIL, Plaines-du-Loup à Lausanne, VD | Architectes : Bunq |



2.1.4. Inventaire et analyse des catalogues systèmes constructifs existants et création d'une base de données de macro-composants par famille de typologies

Un macro-composant (MC) représente un sous-ensemble complet d'un bâtiment (toiture, parois, planchers, etc.) composé de différents composants (couches). Il est parfois aussi appelé élément de construction. Il permet de traiter des systèmes constructifs dans leur manière « macro » au lieu de détailler chaque matériau individuel. Les bases de données de MC identifiées pour la Suisse proviennent des catalogues Lignum, BauTeilKatalog, Minergie. Ces catalogues ont été récoltés afin de les analyser. Pour cette étude, Lignum a autorisé l'accès à l'ensemble de leur catalogue de macro-composants et de matériaux via leur API ce qui a permis d'obtenir un grand nombre de macro-composants (plus de 1000) en relativement peu de temps. Les catalogues BauTeilKatalog et Minergie n'ont pas de méthode pour transmettre directement les caractéristiques des macro-composants et leur composition. Ces derniers ont donc été récupérés à l'aide des documents disponibles. Les MC de BauTeilKatalog sont issus de leur page web [1] et ceux de Minergie proviennent du fichier PDF fait par la société ZKF [2].

Parmi les bases de données récoltées, chacune a un format différent (JSON, Excel, PDF, Web) et une structure différente. Afin de rassembler l'ensemble des bases de données, un format et une structure ont été définis. Les détails des macro-composants à avoir impérativement pour définir leurs exigences fonctionnelles ont été repris directement des résultats du WP1b réalisé en parallèle de ce WP. Certains détails non essentiels, mais intéressants comme pour la compréhension, le suivi et l'affichage (graphique) des MC ont été repris des bases de données elles-mêmes. La conception de cette base de données commune est centrée sur la clarté et l'accessibilité afin que chaque macro-composant et matériau soient vérifiés lors de cette étude et vérifiables indépendamment hors de cette étude. La base de données reprend le format de Lignum (JSON) et en partie sa structure, car c'est un des formats les plus répandus permettant de stocker beaucoup d'informations de manière structurée en prenant très peu de place. Il permet d'être transmis facilement et de passer d'un format à un autre sans perte d'information. La structure a été rédigée en anglais (Lignum en allemand), afin d'être plus « neutre » et accessible à un plus grand nombre de personnes et adaptée au milieu de la recherche. Les textes des bases de données sont pour certaines disponibles en plusieurs langues, une partie « traduction » a donc été ajoutée pour intégrer les informations comme le titre et les descriptions directement dans les MC en plusieurs langues. Cette structure n'est pas figée. Elle est vouée à évoluer en fonction de la suite de ce projet et des remarques venant de contributeurs extérieurs. La structure complète de la base de données se trouve en annexe, mais un extrait est illustré dans la Figure 3



```
[
  {
    "id": "BD458C8C-F6EF-3D1E-8D64-8CE31BC07283",
    "parent": null,
    "serialNo": "A0105",
    "categoryId": "floor_assembly",
    "thickness_mm": 470.0,
    "weight_kg_m2": 244.0,
    "uValue_W_m2K": 0.3293740719271559,
    "gwp_kgco2e_m2": 50.2,
    "spanMax_m": null,
    "claddingId": "substructure_rigid_screwed",
    "sheathingId": "without_sheathing",
    "ballastInConstructionId": "without_dampening_in_the_supporting_structure",
    "ballastOnStructurallayerId": "without_dampening_on_the_supporting_structure",
    "cavityInsulationInStructureId": "with_cavity_insulation_in_the_supporting_structure",
    "facadeTypeId": null,
    "wallFinishId": null,
    "screedId": "with_cement_screed",
    "variantId": "with_floor_construction_and_ceiling_covering",
    "translations": {
      "fr": {
        "name": "Plancher A0105 Raidisseurs / solives",
        "description": "Plancher composée d'une construction de base de nervures / solives, sans contreventement, parement de plafond simple. Sous-structure vissée avec une résistivité de flux d'air [r] 5 ≤ r ≤ 50 kPa s/m², sans ajout de masse dans la structure support, avec isolation de la cavité de la structure support. Sans ajout sur la structure support, avec isolement aux bruits de choc avec une rigidité dynamique [s'] de 6 MN/m³ et avec chape de ciment."
      },
      "en": {
        "name": "Floor assembly A0105 Ribs / joists",
        "description": "Ceiling consisting of a basic construction of ribs / joists, without sheathing, simple ceiling covering. stiff screwed substructure with air flow resistivity [r] of 5 ≤ r ≤ 50 kPa s/m², without dampening in the supporting structure, with cavity insulation in the supporting structure. Without dampening on the supporting structure, with impact sound insulation with a dynamic stiffness [s'] of 6 MN/m³ and with cement screed."
      }
    }
  }
]
```

Figure 3: Exemple de la structure de la base de données sur la partie métadonnée d'un MC

2.1.5. Identifier et compléter les lacunes des bases de données de macro-composants existantes

Une fois la structure commune définie, les bases de données ont été comparées au niveau des MC pour relever les caractéristiques de MC (métadonnées) fournies et manquantes. Un tableau de comparaison (Tableau 1) a été réalisé avec un exemple des valeurs pour chaque métadonnée afin de résumer et visualiser ce que contiennent les catalogues.

	Très important
	Bien pour le contrôle, mais peut être déduit
	Manquant
	Manquant, important

Macro-composant									
Base de données	Catégorie	Nom	Valeur U [W/m2K]	GWP [kg CO2-eq/m2]	Référence feu	Hauteur totale	Poids	Valeurs d'isolation au bruit aérien	Valeurs d'isolation au bruit de choc
BauTeilKatalog	Fondations, dalles de fond	Bodenplatte 25cm...	0.17						
Lignum		A0090	0.391	37.3	Lignum Dok. 4.1 / Tabelle: 431-1	417 mm	221 kg/m2	Rw 53 dB C -3 dB C50-3150 -3 dB	Lnw 62 dB CI 0 dB CI50-2500 1 dB
Minergie	Betonrippendach	Der Dachaufbau...							

Tableau 1: Comparaison des bases de données au niveau des macro-composants avec un exemple de valeur

Ensuite les bases de données ont été comparées au niveau des couches qui compose les macro-composants. Comme pour la comparaison au niveau du MC, un tableau de comparaison (Tableau 2) a été réalisé avec un exemple des valeurs pour chaque donnée de couche. Le but d'analyser au niveau des couches de matériaux est de relever s'il est possible de vérifier les métadonnées des MC existantes ou d'obtenir celles manquantes en fonction des données des couches.



Couche										
Base de données	matériau	épaisseur de couche	Largeur	Entraxe	lambda	durée d'amortissement	masse surfacique [kg/m2]	densité/masse	KBOB ID	Référence produit/matériau
BauTeilKatalog	Parquet, 3 plis...	0.015	m	m	0.13	40	7.9	7.9	11.019	271
Lignum	Chape ciment	80 mm	mm	mm			176		4.006	
Minergie	Substrat	7 cm	cm	70 m			4.8		03.013	

Tableau 2: Comparaison des bases de données au niveau des couches avec un exemple de valeur

Avec les deux tableaux de comparaison des bases de données ci-dessus, il est possible de constater un certain nombre de détails manquants dans chaque base de données et à chaque niveau. La base de données la plus complète est celle de Lignum, que ce soit au niveau des macro-composants, des couches, mais également des caractéristiques des matériaux. Ces tableaux représentent ce que contiennent les structures des bases de données, en passant à travers ces dernières, des valeurs manquantes ou erronées ont été remarquées.

Afin d'éviter de prendre des valeurs incorrectes pour les résultats de cette étude, un protocole a été mis en place. La première phase a été de définir une base de données commune et homogène de matériaux vérifiés. Cela évite qu'un même matériau aie des caractéristiques différentes entre des MC de base de données différentes. La seconde phase a été de vérifier les valeurs de chaque couche de MC et de les relier à un matériau vérifié. Pour éviter de passer à travers 1000 MC Lignum, un MC de chaque type de structure a été sélectionné dans un premier temps. Les MC des autres catalogues ont tous été repris. Pour le catalogue Minergie, les valeurs incohérentes ont été mis en évidence directement sur le fichier PDF de la société ZKF [2] disponible en annexe. Ensuite les MC qui n'étaient pas disponibles en français, ont été traduits en français. Les traductions en allemand et en anglais ont été mises de côté, car il ne s'agit pas d'un travail essentiel aux résultats de cette étude qui est faite en français.

Le fait d'avoir les couches et leur matériau vérifié permet de passer à la dernière phase de ce protocole de vérification. Cette phase consiste à mettre en place un algorithme calculant les valeurs des métadonnées des MC uniquement avec les données de leurs couches. Cela permet de comparer les valeurs calculées aux valeurs existantes pour relever les erreurs des catalogues ou de compléter ces valeurs lorsqu'elles sont manquantes. L'algorithme pour le calcul des métadonnées de l'épaisseur, du poids, de la valeur U et de l'impact carbone a pu être développé relativement facilement, en revanche aucune solution fiable n'a encore été trouvée pour le calcul automatique de la résistance au feu et l'isolation acoustique au moment de la rédaction de ce rapport. Le fait de ne pas pouvoir les calculer automatiquement impliquerait un contrôle manuel de chaque MC (plus de 1000 en tout) par un expert. Des pistes seront étudiées pendant la suite de cette étude pour éviter le contrôle manuel.

Un point qui a été également relevé lors de discussions avec des experts sur la résistance au feu était la résistance structurelle des MC. Pour les planchers par exemple, l'usage du bâtiment (résidentiel ou commercial) et la portée maximale définie par l'architecture vont directement définir une limite structurelle à atteindre. Cette limite varie elle-même en fonction de la résidence au feu. Les MC n'ont aucune indication sur leur résistance structurelle or ce paramètre devrait influencer le choix des MC, pour que son dimensionnement soit approprié aux caractéristiques du bâtiment. Si cette limite n'est pas précisée dans les macro-composants, rien ne garantit leur comparaison à fonction équivalente et la faisabilité de leur utilisation. La résistance structurelle ne faisant pas partie des objectifs de cette étude a été mise de côté afin d'éviter un dépassement de budget, mais il est important de relever ce point pour une potentielle amélioration du choix et de la comparaison de MC.

A savoir que la composition des MC des catalogues n'a pas été remis en question lors de cette étude. En effet les retours d'expérience des praticiens contactés ont relevé certaines incohérences au niveau même de la composition de certains MC. Les exemples donnés par les experts étaient des isolations souples trop épaisses sous des chapes coulées et des compositions trop onéreuses.

**Production :**

- Définition des archétypes typologiques
- Définition des familles de typologies constructives
- Collectes des données
- Inventaire et analyse des catalogues systèmes constructifs existants
- Définition d'une structure de base de données de MC

Livrable :

- Fiches techniques des 9 cas d'étude sélectionnés (+2 présélections)
- Matrice de choix
- Structure de base des données de MC
- Scripts Python
 - o pour obtenir les MC Lignum
 - o pour passer de la structure Lignum à celle de TypoBuildZero
- Base de données de matériaux harmonisées, vérifiée et complétée (116 matériaux)
- Base de données de macro-composants corrigée et complétée (155 MC)

Avancement : 90%

Reste à produire :

- Vérifier le reste des MC de la base de données
- Trouver une méthode pour calculer la résistance au feu et l'isolation acoustique des MC automatiquement

Remarques :

- Valeurs structurelles des MC, comme la portée sont manquantes dans tous les catalogues
- Certains MC proposés ne sont pas réalisables au niveau constructifs et/ou économique



2.2. WP1b Définition des exigences fonctionnelles des archétypes.

Le WP1b définit les différentes exigences fonctionnelles (feu, acoustiques, thermiques et impact carbone) issues des normes AEA1, SIA 181, SIA 380/1 et SIA 390/1. Ces exigences sont exprimées sous forme de valeurs limites, d'objectifs ou de recommandations pour l'affectation au logement et en fonction des trois archétypes définis au WP1a. Elles permettent de filtrer les macro-composants de la base de données élaborée dans le WP1a. Les sections suivantes détaillent le travail mené pour chacune de ces exigences.

2.2.1. Exigences Feu

Les exigences Feu, issues des Directives de Protection Incendie (DPI) de l'AEA1, ont été synthétisées dans le Tableau 3 pour les trois archétypes. Celui-ci précise, pour chaque élément constructif, les performances requises en termes de Résistance, Étanchéité et Isolation (REI), la classe de Réaction au Feu (RF) des matériaux ainsi que, le cas échéant, l'admissibilité des matériaux dits critiques (cr), caractérisés par une forte production de fumée, des gouttelettes en fusion ou des particules enflammées. Cette structuration permet une consultation claire et efficace des prescriptions applicables selon le macro-composant et l'archétype considéré.

La forme d'un decision tree a été abandonnée, car elle est peu synthétique et fournit également des informations sur des éléments qui ne nécessitent aucune exigence particulière. Dans la présente représentation, l'absence d'indication sous-entend qu'aucune exigence n'est applicable.

Avec l'appui et la validation de l'expert feu externe, il a été établi que les exigences de protection incendie concernent uniquement la structure porteuse, les façades, ainsi que les éléments verticaux et horizontaux séparant deux logements ou délimitant les voies d'évacuation. Les toitures ne sont quant à elles soumises à aucune exigence de résistance au feu.

Le Tableau 3 ci-dessous constitue un livrable du projet de recherche et présente, pour chaque archétype, les exigences spécifiques applicables aux éléments de construction en matière de résistance au feu (REI) et de réaction au feu des matériaux, y compris l'admissibilité des matériaux critiques (RF(cr)).

Archétypes	Macro-éléments	Exigences feu
Maison unifamiliale ou petit collectif (max. 2 niveaux hors-sol)	Toiture	REI0 et $\geq$ RF3(cr) (certaines couches en RF1, selon AEA1 14-15)
	Plancher (même unité)	REI0 et $\geq$ RF3(cr)
	Plancher (entre unité)	REI30 et $\geq$ RF3 et (cr) pour revêtements de sol
	Paroi intérieure (même unité)	REI0 et $\geq$ RF3(cr)
	Paroi intérieure (entre unité)	(R)EI30 (R si porteuse) et $\geq$ RF3
	Façade extérieure (> 10m voisin)	REI0 et $\geq$ RF3(cr)
	Voies d'évacuation verticales > 35m	REI30 et RF1
	Voies d'évacuation horizontales > 35m	EI30 (R si plancher) et RF1
Immeuble collectif de faible hauteur h < 11m	Toiture	REI0 et $\geq$ RF3(cr) (certaines couches en RF1, selon AEA1 14-15)
	Plancher (même unité)	R30(si porteur)-EI0 et $\geq$ RF3(cr)
	Plancher (entre unité)	REI30 et $\geq$ RF3 et (cr) pour revêtements de sol
	Paroi intérieure (même unité)	R30(si porteuse)-EI0 et $\geq$ RF3(cr)
	Paroi intérieure (entre unités)	(R)EI30 (R si porteur) et $\geq$ RF3
	Façade extérieure (> 10m voisin)	R30(si porteuse)-EI0 et $\geq$ RF3(cr)
	Voies d'évacuation verticales > 35m	REI30 et RF1
	Voies d'évacuation horizontales > 35m	EI30 (R si plancher) et RF1
Immeuble collectif de hauteur moyenne 11m < h < 30m	Toiture	REI0 et $\geq$ RF3(cr) (certaines couches en RF1, selon AEA1 14-15)
	Plancher (même unité)	R60(si porteuse)-EI0 et $\geq$ RF3(cr)
	Plancher (entre unité)	REI60 et RF1 et (cr) pour revêtements de sol
	Paroi intérieure (même unité)	R60(si porteuse)-EI0 et $\geq$ RF3(cr)
	Paroi intérieure (entre unités)	R60(si porteuse)-EI30 (REI60 en pratique) et $\geq$ RF3
	Façade extérieure (> 10m voisin)	R60(si porteuse)-EI0 et $\geq$ RF3(cr)
	Façade extérieure ($\leq$ 10m voisin)	R60(si porteuse)-EI0 et bardage extérieur RF1 ou couche interne RF1
	Voies d'évacuation > 35m verticales	REI60 et RF1
	Voies d'évacuation > 35m horizontales	EI60 (R si plancher) et RF1



Tableau 3: Tableau des exigences feu en fonction des trois archétypes et des familles de macro-composants selon directives AEAI

Un lien intéressant entre exigences acoustiques et feu qui a émergé pendant les discussions avec le bureau d'étude Bois-Initial est que le niveau de résistance au feu R30 est généralement automatiquement atteint si des exigences acoustiques sont respectées. Cette règle, dictée par l'expérience, n'a pas été vérifiée dans le cadre de la présente étude.

2.2.2.Exigences acoustiques

Les exigences acoustiques sont déterminées en fonction du degré de nuisance des locaux d'émission ou de l'environnement extérieur, ainsi que de la sensibilité des locaux de réception selon leur usage (SIA181: 2020, 2.3., p.18). Elles varient également selon la nature des nuisances, qu'il s'agisse de bruits solidiens ou de bruits aériens issus de sources intérieures ou extérieures. Les nuisances liées aux installations techniques ne sont pas abordées dans le présent projet, lequel se concentre sur les compositions des éléments de construction.

Il convient de relever qu'à l'intérieur d'une même unité d'habitation (un appartement), les éléments séparant les différents espaces d'un même logement ne sont soumis à aucune exigence normative spécifique. Toutefois, dans la pratique, des performances acoustiques minimales sont généralement appliquées afin d'assurer un confort suffisant.

Pour les logements, deux niveaux d'exigences acoustiques sont définis : les exigences normales et les exigences accrues. En pratique, les exigences accrues sont généralement appliquées aux biens en propriété (maison individuelle et PPE), tandis que les exigences normales sont retenues pour les logements locatifs, sauf demande particulière du maître d'ouvrage.

Le logement est associé à deux classes de sensibilité au bruit selon le type d'espace considéré, indépendamment de l'origine intérieure ou extérieure de la source sonore (SIA181: 2020, 3.2, p.20). Les locaux destinés à l'habitat, au sommeil ou aux activités intellectuelles, tels que le séjour, les chambres ou les cuisines habitables, présentent une sensibilité dite moyenne. À l'inverse, les locaux utilisés sur de courtes durées, comme les cuisines laboratoire, les couloirs ou les salles de bain, sont considérés comme faiblement sensibles. Afin de simplifier la définition des valeurs acoustiques limites, l'hypothèse d'une sensibilité unique a été retenue, soit la classe moyenne. Les distinctions entre pièces de vie et espaces servants ont ainsi été volontairement ignorées, en conservant la classe la plus contraignante et la plus représentative d'un bâtiment de logement. Cette hypothèse sera mentionnée parmi les avertissements intégrés à l'outil Autospec, afin d'en informer clairement l'utilisateur.

Les exigences de protection contre le bruit aérien extérieur dépendent du degré de nuisance, classé en "faible à modéré" ou "important à très fort" (SIA181: 2020, 3.1, p.19). Un environnement est considéré comme faiblement à modérément bruyant lorsque les niveaux extérieurs sont ≤ 60 dB le jour et ≤ 52 dB la nuit. Dans ce cas, les performances d'atténuation à atteindre sont de 27 dB pour les exigences normales et de 30 dB pour les exigences accrues. Au-delà de ces seuils, le projet relève du degré de nuisance important, pour lequel les exigences sont exprimées en atténuations minimales de 33 dB le jour et 25 dB la nuit. Selon l'implantation du bâtiment, différentes façades peuvent être soumises à des degrés de nuisance distincts, déterminés à partir du cadastre du bruit ou de mesures in situ.

Pour le bruit aérien provenant de sources intérieures, les exigences sont fixées à 52 dB d'atténuation pour les logements en exigences normales et à 58 dB d'atténuation pour les exigences accrues (degré de sensibilité moyen). Ces valeurs ne s'appliquent toutefois qu'aux éléments séparant différentes unités d'habitation.

Les exigences relatives aux bruits solidiens s'appliquent uniquement aux planchers praticables. Pour les logements (degré de sensibilité moyen), elles sont de 53 dB d'atténuation en exigences normales et de 57 dB d'atténuation en exigences accrues, en supposant un degré de nuisance modéré, soit des nuisances provenant de locaux également affectés au logement. Ainsi, il est considéré dans ce projet de recherche que les bâtiments étudiés sont exclusivement destinés au logement, sans autres



affectations telles que des surfaces commerciales, des établissements de restauration, des crèches ou des salles d'enseignement, de sport ou de musique.

Le Tableau 4 ci-dessous présente les exigences acoustiques applicables aux différents macro-éléments pour les niveaux d'exigences standards et accrus, tant pour les bruits aériens que solidiens. Il apparaît qu'aucune différence n'existe entre les trois archétypes typologiques retenus. Les prescriptions acoustiques dépendent exclusivement de l'affectation, en l'occurrence le logement et non de la hauteur ou du gabarit du bâtiment.

Il convient toutefois de souligner que ces prescriptions ne s'appliquent qu'aux logements collectifs et aux habitats groupés. Une maison unifamiliale, constituée donc d'un seul logement isolé, n'est pas soumise aux exigences normatives en matière d'acoustique. Cependant, leur respect relève souvent d'une démarche volontaire visant à garantir un niveau de confort adéquat.

Macro-composants		Bruits aériens		Bruits solidiens	
Types	Situation	Exigences normales	Exigences accrues	Exigences normales	Exigences accrues
Toiture	contre extérieur	27 dB normales* Lr-33 dB (jour)** Lr-25 dB (nuit)**	30 dB accrues* Lr-36 dB (jour)** Lr-28 dB (nuit)**	x	x
Planchers	entre étages (séparant des unités d'habitation distinctes)	52 dB normales	56 dB accrues	53 dB normales	49 dB accrues
	contre extérieur / non chauffé	27 dB normales* Lr-33 dB (jour)** Lr-25 dB (nuit)**	30 dB accrues* Lr-36 dB (jour)** Lr-28 dB (nuit)**	x	x
	contre-terre	x	x	x	x
Parois	Intérieures (séparant des unités d'habitation distinctes)	52 dB normales	56 dB accrues	x	x
	contre extérieur / non chauffé	27 dB normales* Lr-33 dB (jour)** Lr-25 dB (nuit)**	30 dB accrues* Lr-36 dB (jour)** Lr-28 dB (nuit)**	x	x
	contre-terre	x	x	x	x

*Si Lr ≤ 60dB (jour) et ≤ 52dB (nuit)

**Si Lr ≤ 60dB (jour) et ≤ 52dB (nuit)

Lr (dB) : Indice d'évaluation des immissions de bruit extérieur, selon l'Ordonnance fédérale sur la protection contre le bruit

Tableau 4: Tableau des exigences acoustiques (normales et accrues) pour du logement collectif en fonction des types de macro-composants considérés (source : norme SIA 181)

Le retour d'expertise de l'acousticien partenaire relève plusieurs lacunes et / ou erreurs dans les bases de données, notamment certaines valeurs d'affaiblissement acoustique manqueraient de fiabilité. Pour combler cette problématique une revue des données par l'expert acousticien partenaire semble possible mais que sur un échantillon réduit et non sur les milliers de données.

A cela, il faut noter qu'il n'existe pas de méthode "exacte" pour prédire l'atteinte des exigences acoustiques. En effet, les experts acousticiens basent leurs recommandations sur des calculs prédictifs (indicateur de performance acoustique (Di)) et sur leur propre expérience issue notamment de mesures post-construction réalisées in situ. Dans leur pratique, les acousticiens prennent de la marge, d'une part par manque de modèle de calcul précis et d'autre part en prévision de défauts ponctuels lors de la construction. D'autant plus, qu'il est très difficile de corriger un dépassement des valeurs après coup.

La formule calculant l'indicateur de la performance acoustique (Di) entre deux pièces ou avec l'extérieur dépend notamment de paramètre géométrique variable, tel que la surface de l'élément séparatif, le



volume de la pièce considérée et de l'indice de réduction sonore de l'élément de construction (matérialité). En addition, comme signalé ci-dessus, il s'agit d'un calcul prédictif qui donne une indication d'ordre de grandeur à l'expert qui l'interprétera selon son expérience. Ainsi, à ce stade du projet de recherche, il n'a pas été trouvé de moyen de comparer les valeurs acoustiques des bases de données de MC avec les exigences pour les bruits aériens.

L'atteinte des exigences pour les bruits solidiens ne s'applique qu'aux planchers praticables et repose non seulement sur la composition du macro-élément mais également, voire principalement sur les détails des raccords de ces derniers. L'analyse des détails n'est pas incluse dans le périmètre de l'étude, car elle ne s'applique pas au stade de l'avant-projet et au choix d'un MC.

Plusieurs difficultés ont été identifiées pour la partie acoustique, soit une base de données parfois erronée, le calcul de l'indicateur de performance basé sur des géométries variables et la nécessité au recours d'un expert pour trancher de l'atteinte des exigences au cas par cas.

Plusieurs stratégies additives sont possibles pour surmonter ces difficultés. Concrètement, il s'agirait d'épurer les bases de données en ne retenant que les solutions constructives réalistes et économiquement viables, ainsi qu'une sélection de macro-composant validée par un expert acousticien.

La validation de l'expert dépendra notamment d'un cadre d'évaluation précis avec des hypothèses et des conditions de validité. Les conditions de validité seraient notamment une affectation uniquement au logement (locaux d'émission et de réception), une absence de défaut de mise en œuvre, une exclusion de la transmission latérale. Puis les hypothèses de validité seraient une définition du champ de fréquences des bruits d'émission, une définition de la situation entre unité d'habitation et l'extérieur. Ainsi, ce cadre d'évaluation implique un travail complémentaire sur une proposition d'une géométrie standardisée (hauteur de plafond, surface de l'espace intérieur, surface de l'éléments de séparation) ou d'en définir plusieurs. La méthodologie pour la définition d'une ou plusieurs géométrie standardisée doit également être développée.



2.2.3.Exigence thermique - limites et cibles

Pour la performance thermique du bâtiment, des valeurs cibles limites sont fixées au niveau du bâtiment et au niveau des macro-composants. SIA 380/1 et MoPEC fixent les mêmes valeurs pour les besoins de chaleur annuels pour le chauffage ($Q_{H,li}$), voir Tableau 5 ci-dessous. Minergie fixe ces limites à 90% du $Q_{H,li}$ du MoPEC et à 70% pour leur label P et A.

La valeur limite pour les bâtiments à construire se calcule selon la formule suivante et avec les valeurs du tableau 6.

$$Q_{H,li} = [Q_{H,li0} + \Delta Q_{H,li} (A_{th}/A_E)] \cdot f_{cor} \quad (3)$$

$Q_{H,li}$ valeur limite pour les bâtiments à construire, en kWh/m²; sert de base pour la valeur limite pour les transformations et les valeurs cibles; la valeur cible est arrondie à une décimale

$Q_{H,li0}$ valeur de base selon tableau 6, en kWh/m²

$\Delta Q_{H,li}$ accroissement selon tableau 6, en kWh/m²

A_{th} surface de l'enveloppe thermique du bâtiment, en m²

A_E surface de référence énergétique SRE, en m²

f_{cor} correction de température conformément à 2.3.9

Tableau 6 Valeurs limites des besoins de chaleur annuels pour le chauffage des bâtiments à construire pour une température annuelle moyenne de 9,4 °C

Catégories d'ouvrages		Valeurs limites	
		Base $Q_{H,li0}$ kWh/m ²	Accroissement $\Delta Q_{H,li}$ kWh/m ²
I	habitat collectif	13	15
II	habitat individuel	16	15
III	administration	13	15
IV	école	14	15
V	commerce	7	14
VI	restauration	16	15
VII	lieu de rassemblement	18	15
VIII	hôpital	18	17
IX	industrie	10	14
X	dépôt	14	14
XI	installation sportive	16	14
XII	piscine couverte	15	18

Tableau 5: Valeurs limites des besoins de chaleur annuels pour le chauffage des bâtiments à construire, transformés ou changeant d'affectation (source : norme SIA 380/1)



La norme SIA 380/1 et le MoPEC fixent également des limites pour la valeur U (W/m²K) des différents macro-composants en fonction de leur position dans le bâtiment, voir tableau ci-dessous.

Éléments d'enveloppe contre Élément	Valeurs limites U_{li} en W/(m ² K) avec justificatif des ponts thermiques	
	l'extérieur ou enterrés à moins de 2 m	locaux non chauffés ou enterrés à plus de 2 m
Eléments opaques (toit, plafond, mur, sol)	0,17	0,25
Fenêtres, portes vitrées	1,0	1,3
Portes	1,2	1,5
Portes (selon norme SIA 343)	1,7	2,0
Caissons de stores	0,50	0,50

Tableau 6: Valeurs limites pour les bâtiments à construire et les nouveaux éléments de construction (source : norme SIA 380/1)

Les limites de la valeur U ne permettent pas de garantir le respect du $Q_{H,li}$. En effet, le QH dépend de plusieurs facteurs comme la localisation, la catégorie d'ouvrages, la surface de référence énergétique (SRE), la surface d'enveloppe, la capacité thermique, la valeur U des murs et des fenêtres, la valeur g de fenêtre, de sa part vitrée et du système de ventilation. C'est pour cette raison qu'une méthode simplifiée pour estimer la valeur U max en fonction des caractéristiques du bâtiment a été développée. Les détails de cette méthode se trouve dans le paragraphe « Outil de formulation des exigences du bâtiments et macro-composants (Autospec) » ci-dessous.

2.2.4. Impact carbone - limites et cibles

La norme SIA 390/1 éditée en février 2025 définit des limites d'impact carbone en kilogramme de CO₂-eq par mètres carré de SRE par an (kg CO₂-eq/m²SRE*a) pour le carbone gris des matériaux (construction) et les émissions relatives à la consommation énergétique (exploitation) des bâtiments. Le modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC) sorti en août pose également des limites, mais réparties différemment de celles de la SIA. La SIA 390/1, fixe une limite de respectivement 9 et 2 kg CO₂-eq/m²SRE.a pour la construction et l'exploitation soit 11 kg CO₂-eq/m²SRE.a au total. Alors que le MoPEC fixe une limite de 12.4 kg CO₂-eq/m²SRE.a pour la partie chauffée des bâtiments et une autre limite de 5.5 kg CO₂-eq/m².a pour la partie non chauffée et ajoute des suppléments pour les sondes géothermiques, les installations PV et les capteurs thermiques. Les limites d'impact carbone du MoPEC 2025 sont donc plus permissive que celles de la SIA 390/1. Minergie fixe également des limites de la même manière que le MoPEC (en fonction des surfaces chauffées, non-chauffées et suppléments), mais avec des valeurs plus contraignantes pour les parties chauffées et non-chauffées.

En faisant le lien entre ces normes et cette étude, les limites fixées contraignent uniquement les bâtiments dans leur ensemble, mais pas directement les macro-composants par famille ou individuellement. De ce fait, il est possible de constater le respect ou non de ces normes qu'une fois les macro-composants sélectionnés et appliqués aux mètres. Il n'est donc pas possible de définir de limite d'impact carbone aux macro-composants à partir des normes existantes.

2.2.5. Outil de formulation des exigences du bâtiments et macro-composants (Autospec)

Le SmartLivingLab finance le développement d'un outil de formulation des exigences adaptées à la phase d'avant-projet. Le but de cet outil est de permettre de filtrer et trier les macro-composants de la base de données en fonction des informations du bâtiment disponible en avant-projet afin de proposer uniquement des éléments respectant les exigences (thermique, incendie et acoustique).



Etant donné le nombre potentiel de macro-composants provenant des différentes bases de données et le format commun choisi de ces derniers dans le WP1a (JSON), le format Web a été choisi pour cet outil. Ce format permet une diffusion rapide et un suivi des mises à jour automatique. Le seul désavantage par rapport à un format Excel est son utilisation hors-ligne, mais ce point peut être corrigé si besoin par la suite en mettant à disposition un fichier pouvant être téléchargé et exécuté en local. Le langage de programmation utilisé pour cet outil est le JavaScript avec la bibliothèque open-source React. L'outil a été développé avec une architecture intégrant des modules indépendants pour une meilleure robustesse lors de modification ou d'ajout de nouveaux modules et fonctions.

Le module thermique de cet outil a été réalisé avec les données de l'outil « ENteb - Outil de justification pour bâtiments simples » (EN-101c) de la conférence des services cantonaux de l'énergie (EnFK), car actuellement un des justificatifs énergétiques à remplir en avant-projet se fait avec cet outil. L'outil ENteb permet de faire un calcul simplifié des besoins de chaleur pour le chauffage par année (QH) d'un bâtiment en fonction de plusieurs facteurs comme la station météo, la catégorie d'ouvrages, la SRE, la surface d'enveloppe, la capacité thermique, la valeur U des murs et des fenêtres, la valeur g de fenêtre, de sa part vitrée et de son système de ventilation.

Pour information, les données sur lesquelles se base l'outil ENteb sont les mêmes que les données des bâtiments avec lesquelles le groupe de travail MoPEC définit les valeurs limites des différentes catégories de bâtiment. Ces données sont issues d'un total de 214 bâtiments. Les variables de l'outil ENteb (utilisations, stations climatiques, masse, enveloppe, etc.) ont été appliquées aux 214 projets et les besoins de chaleurs en fonction du facteur d'enveloppe ont été calculés en définissant une droite de régression par variante de combinaison.

Le module thermique de l'outil Autospec reprend les facteurs précédemment cités de l'outil ENteb, mais au lieu de calculer le QH il calcule la valeur U maximale de l'enveloppe afin que le QH soit inférieur au QH_{li} défini par la norme SIA 380/1. Cette valeur U maximale calculée vient en complément de la valeur U limite détaillée dans le Tableau 6 ci-dessus, car la valeur U limite n'est pas forcément suffisante. Cela permet de filtrer les MC plus précisément.

Le module incendie découle directement des données des exigences feu du Tableau 3, il indique les exigences de chaque type de macro-composant en fonction du type de bâtiment. Il est possible de filtrer les éléments avec les exigences qui ressortent du module, mais les exigences sont également écrites afin que l'utilisateur puisse lui-même vérifier les macro-composants si ces informations sont manquantes dans ce dernier.

Le module acoustique a été développé à l'aide des valeurs du Tableau 4. Il permet d'informer l'utilisateur sur la valeur à respecter et de filtrer les MC qui respectent cette valeur. Le filtre affiche les MC qui n'ont pas de valeur acoustique afin de ne pas exclure de potentiels candidats.

La partie impact carbone n'est limitée que par l'impact global du bâtiment selon la SIA 390/1 et le MoPEC, il n'y a donc pas de limite claire sur l'impact par MC, mais une réflexion sera faite avec les résultats de cette étude pour proposer un éventuel budget par MC. En revanche, il est déjà possible de les filtrer manuellement avec des bornes (min. et max.) et également de les trier par ordre d'impact afin de choisir les MC répondant aux mêmes exigences mais ayant un faible impact carbone.

Un module graphique a été développé pour cet outil afin d'homogénéiser la représentation des macro-composants et de créer ou corriger les représentations de ceux qui en avaient besoin.

L'outil intègre un module « calcul métadonnées » reprenant l'algorithme du WP1a qui calcule les valeurs des métadonnées des MC uniquement avec les données de leurs couches. Les métadonnées de l'épaisseur, du poids, de la valeur U et de l'impact carbone sont calculées avec ce module. Cela permet de relever automatiquement les erreurs éventuelles provenant des bases de données dans un premier temps et de les vérifier manuellement dans un second temps. Une vérification des valeurs incendie et acoustique peut potentiellement être faite dans le futur, mais demandera un travail spécifique sur ces deux domaines qui demandent une analyse conséquente. N'étant pas dans le cahier des charges, ce module n'a pas été développé davantage. Il a principalement été fait pour gagner du temps lors que la vérification manuelle des macro-composants du WP1a.



Le module graphique et « calcul métadonnée » permettent un gain de temps lors de la création de nouveaux MC, car le premier permet de se rendre compte visuellement si une valeur entrée manuellement est hors norme et le second permet de calculer automatiquement certaines métadonnées du MC.

Comme expliqué plus haut cet outil a été développé afin d'être amélioré et raffiné par la suite. Des potentielles futures fonctions seront par exemple, la vérification, l'ajout et la personnalisation des macro-composants et matériaux par les utilisateurs (producteurs, constructeurs, ingénieurs ou architectes), « l'assemblage » des macro-composants directement sur l'outil afin d'estimer l'impact carbone et la consommation énergétique du bâtiment complet. Au moment de la rédaction de ce rapport intermédiaire, l'outil est encore en cours de développement.

Produit :

- Etude et définition des exigences fonctionnelles
- Développement d'un outil de formulation des exigences fonctionnelles

Livrables :

- Outil d'exigence Autospec
- Tableau de synthèse des exigences feu
- Tableau de synthèse des exigences acoustiques

Pourcentage d'avancement : 90%

Reste à produire : Finition de l'outil Autospec



2.3. WP2 et WP3 Evaluation des AP et identification des lacunes sur la base des projets détaillés

2.3.1. Evaluation AP et analyse de cycle de vie

L'analyse s'appuie sur la méthode définie par la SIA 2032 pour le calcul de l'impact carbone des bâtiments sur leur cycle de vie. La SIA 2032 est le cahier technique qui définit la méthode de calcul l'impact carbone des bâtiments sur leur cycle de vie. En particulier, l'annexe D : méthode simplifiée d'estimation en phase préliminaire, sert de base pour les ACV d'avant-projet. Cette méthode fournit un tableau standardisé avec une liste restreinte de macro-composants génériques dont l'impact carbone est issu de la base KBOB. Elle permet d'obtenir rapidement un ordre de grandeur des émissions d'un bâtiment et de comparer différentes variantes en phase AP.

Un critère clé dans la précision des résultats d'une analyse de cycle de vie d'un bâtiment réside dans la complétude de l'inventaire des matériaux qui le constitue. Cette complétude se base généralement sur un mètre qui quantifie ces matériaux ou MC du bâtiment sur la base des pièces graphiques disponibles lors de la phase de conception concernée. Pour s'assurer que les détails des mètres et des ACV ne diffèrent pas d'un bâtiment à l'autre et entre différents architectes et ingénieurs, un modèle de mètres a été développé. Ce modèle constitue un document à remplir (Figure 4), organisé en sections correspondant aux principaux éléments constructifs. Il permet d'assurer une saisie cohérente des informations nécessaires et de guider les partenaires dans l'extraction des quantités. Ce modèle vise à structurer de manière cohérente l'ensemble des données nécessaires à l'établissement des ACV et présente les caractéristiques suivantes :

- Une structure commune applicable à tous les projets analysés, garantissant une collecte homogène des matériaux et macro-composants.
- Une compatibilité entre plusieurs niveaux d'analyse, assurant la comparabilité entre les ACV d'avant-projet (AP) et les ACV basées sur les macro-composants issus des bases de données, et les ACV en phase d'exécution (EXE).
- Une organisation fondée sur les codes eCCC-bât, facilitant l'intégration dans les outils usuels

Ce modèle a également pour but de rendre comparables les ACV d'AP fait avec la méthode simplifiée d'ACV de l'annexe D de la SIA 2032, les ACV avec les MC de la base de données et les ACV d'EXE. Pour comparer les résultats aux niveaux européens, le modèle est compatible avec la norme EN 15978.



Bill of quantity (data collection template)

Project name	
Location	
Prepared by	

Works	eCCC-Bat elements or components	Description of element or component	Quantity	Unit	Reference quantity	Description	Choice	Exemple
Preparatory work	B06.01, B06.02	Excavations	221	m ³	Volume			Blindage de fouille, paroi berlinoise, en porte-à-faux
	B06.04	Excavation enclosures		m ²	Surface area of component			Fondations profondes, micropieux
	B07.02	Foundation piles		m	Surface area of component			
Building envelope (in contact with ground)	C01.03	Floor slabs, rafts		m ²	Surface area of component		non-isolés	non-isolés
	C02.01	Underground exterior load-bearing walls	219	m ²	Surface area of component		isolés, XPS	isolés, XPS
	E01, F01.01	Wall coverings against ground	69.4	m ²	Surface area of component		Paroi béton 25cm	Paroi béton 25cm
	C04.04, F01.01	Underground roof, underground waterproofing	69.4	m ²	Surface area of component		isolés, XPS	non-isolés, XPS
				m ²	Surface area of component		non-isolés	isolés, XPS
Building envelope (in contact with outside)	C02.01	Above ground exterior load-bearing walls	262	m ²	Surface area of component		Paroi en brique en terre cuite 20 cm	Paroi en béton 20 cm
			27	m ²	Surface area of component		Paroi en béton 20 cm	Paroi ossature bois 20 cm
	E02	Facade cladding	269	m ²	Surface area of component		Crépis extérieur	Paroi en brique en terre cuite 17.5 cm
							Enduit d'isolation thermique	Crépis extérieur
	E02.02	Insulation	269	m ²	Surface area of component		Laine de roche - isolation thermique extérieure	Revêtement bois ventilé - sous-construction bois
							EPS - isolation thermique extérieure	Laine de roche - isolation thermique extérieure
	E03.01	Windows	103	m ²	Surface area of component		Triples vitrages isolants, cadre bois-métal	Laine de roche - isolation thermique ventilée
	E03.04	Frames	103	m ²	Surface area of component		Protection solaire	Triples vitrages isolants, cadre PVC
	C04.04	Roof supporting structures	264	m ²	Surface area of component		Dalle en béton 25cm	Protection solaire
							Plafond en bois massif	Dalle en béton 25cm
Interior and exterior components	F01	Roof covers	264	m ²	Surface area of component		Toiture plate - isolation EPS	Dalle en béton 40cm
							Toiture plate - non isolée	Dalle en béton 40cm
							Toiture plate - isolation PUR	Toiture plate - isolation PUR
							Toiture plate - isolation EPS	Toiture plate - isolation EPS
	C02.02	Interior load-bearing walls	95	m ²	Surface area of component		Béton 20 cm	Béton 20 cm
			226.43				Brique	Brique
	C03	Pillar		m ²	Surface area of component			Pilier en béton coulé sur place
	G01	Partitions	32.2	m ²	Surface area of component		Paroi plaque de plâtre, ossature en bois	Paroi placoplâtre, ossature métallique
	G03	Interior wall coverings		m ²	Surface area of component			Paroi plaque de plâtre, ossature en bois
							Enduit en plâtre et en ciment	Peinture sans enduit
	C04.01	Floors	222.7	m ²	Surface area of component		Dalle en béton 25cm	Enduit en plâtre et en ciment
							Dalle en béton 40cm	Dalle en béton 25cm
	G02	Floor support	188.7	m ²	Surface area of component		Chape ciment	Dalle maître profil acier-béton
			49				Chape anhydre	Chape ciment
	G02	Acoustic	237.7	m ²	Surface area of component		Laine de roche, acoustique	Chape anhydre
	G02	Floor insulation against unheated areas	188.7	m ²	Surface area of component			Laine de roche, acoustique
Building Services	G02	Floor coverings	49				Parquet	EPS
							Céramique	Vitrification
	G04	Ceiling cover	95	m ²	Surface area of component		Enduit en plâtre et en ciment	Céramique
	C04.03	Ballasts	9	m ²	Surface area of component		Dalle en béton en porte-à-faux q.c. dispositifs anti-	Parquet
	D01, D02	Electrical installations	489	m ²	Energy reference surface area		Installation électrique habitation	Installation électrique habitation
	D01.01	Photovoltaic	3.06	kVp	Power		Installation photovoltaïque (1m ² x 0.14 kVp)	Installation photovoltaïque (1m ² x 0.14 kVp)
	D05	Heating technology installations	489	m ²	Energy reference surface area		Production de chaleur 20 V/m ²	Production de chaleur 20 V/m ²
		Distribution et émissions	489	m ²	Energy reference surface area		Distribution et émission de chaleur habitation	Sondes géothermiques
		Solar collectors		m ²	Surface area of component		Capteurs solaires	Capteurs solaires
	D07	Ventilation and air conditioning systems	489	m ²	Energy reference surface area		Système de ventilation habitation	Extraction mécanique cuisine et salle de bain
	D08	Technical installations for water - distribution	489	m ²	Energy reference surface area		Installation sanitaire habitation	Installation sanitaire habitation

Figure 4 : Illustration du document à remplir du modèle de métré



Le modèle permet donc la comparaison de la phase d'AP et d'EXE d'un projet à un niveau macro comme illustré dans la Figure 5 ci-dessous :

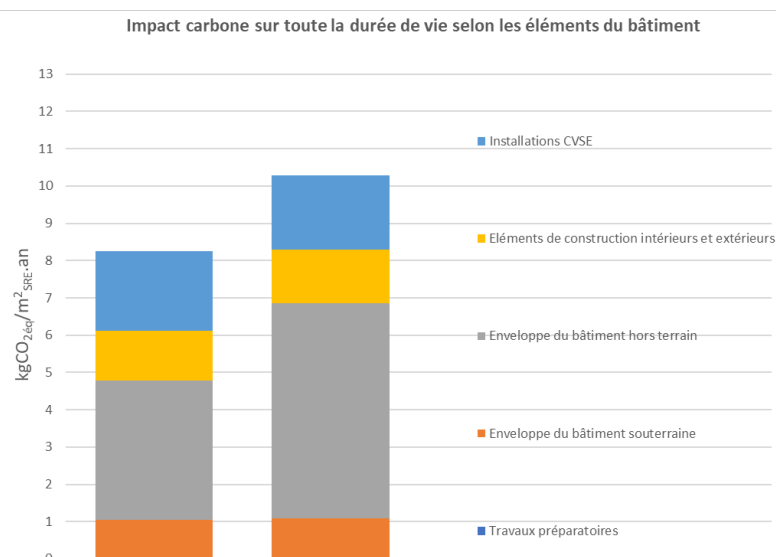


Figure 5: Comparaison de l'impact carbone de la phase d'AP et d'EXE d'un projet (modèle de mètres)

Mais il permet également une comparaison des deux mêmes phases à un niveau de décomposition plus raffinée pour avoir une analyse complète des postes (Figure 6).

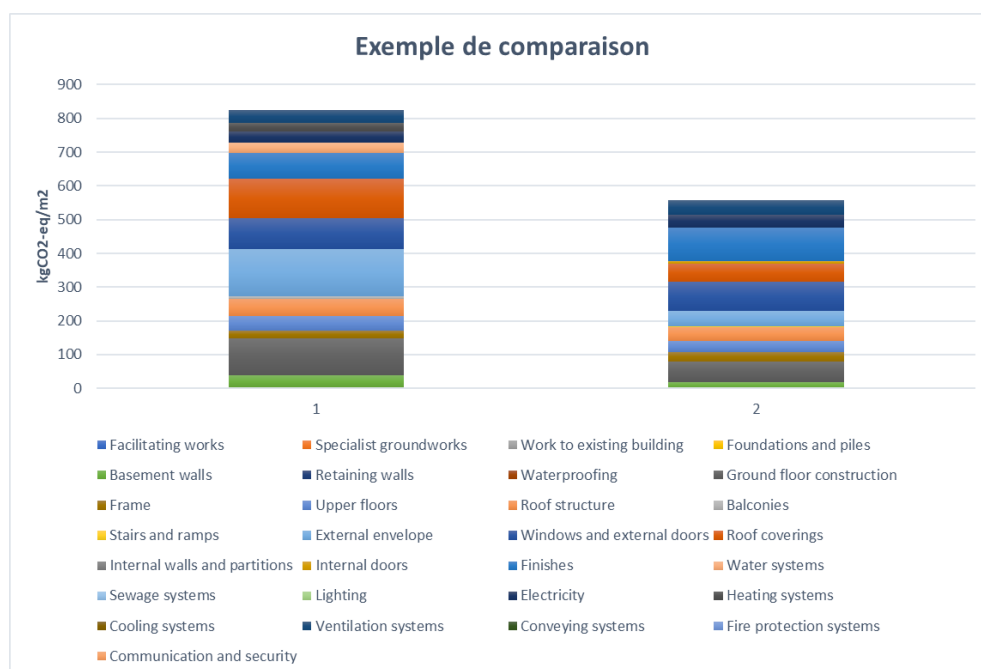


Figure 6: Comparaison de l'impact carbone de la phase d'AP et d'EXE d'un projet par poste (modèle de mètres)

Le modèle de mètres a été amélioré de manière itérative. Après avoir défini le modèle de mètres, un test avec un premier bâtiment a été fait des mètres jusqu'à la comparaison des ACV d'AP et d'EXE.



Des corrections ont été appliquées au modèle grâce au retour d'expérience de ce premier test. Ce modèle peut à présent être utilisé pour les 9 cas d'étude retenus pour ce projet.

Le WP3 porte sur l'analyse des cas d'étude en phase d'exécution (EXE) et a pour objectif de comparer le niveau de précision entre les phases AP et EXE, tout en évaluant l'impact des variations de conception sur le bilan carbone réel des bâtiments. Bien que le WP2 ne soit pas entièrement finalisé, il a été nécessaire de débiter le WP3 afin de vérifier le workflow complet allant de l'avant-projet jusqu'à l'exécution. Cette approche progressive permet d'éprouver la méthodologie et de valider le fonctionnement du modèle de métrés dans des conditions réelles, plutôt que de l'appliquer directement aux 9 cas d'étude sans retour d'expérience intermédiaire. Par ailleurs, la réalisation des métrés étant un processus lourd et minutieux, il s'est avéré plus efficace de traiter les projets un par un, en passant directement d'un cas en AP à son analyse en EXE. Cette organisation séquentielle permet de limiter les ajustements ultérieurs et de garantir une montée en qualité continue. L'avancement parallèle des deux WP est également lié à l'attente de la complétude de certaines données de la base de macro-composants, nécessaires pour finaliser certaines analyses AP.

À ce stade, les partenaires ont déjà transmis, pour les premiers projets, les documents nécessaires à l'analyse EXE tels que plans d'exécution, métrés détaillés, appels d'offres, factures et documentation photographique. Ces éléments permettent de reconstruire précisément les macro-composants tels qu'ils ont été réalisés sur chantier. Le modèle de métrés développé dans le WP2 est désormais appliqué à ces données réelles afin de structurer les quantités de manière homogène et de préparer la comparaison directe entre AP et EXE.

Dans ce projet de recherche, le métré pour l'ACV est réalisé en quantifiant précisément l'ensemble des matériaux, en particulier les macro-éléments correspondant aux différentes familles de MC définies dans le WP1a. Cette démarche permet d'établir un inventaire nécessaire au calcul des impacts environnementaux et d'évaluer le performance gap entre le projet d'avant-projet et le projet d'exécution issu des exigences fonctionnelles.

Les métrés de l'avant-projet et du projet de construction sont tous deux effectués sur la base des plans d'exécution, afin de s'assurer que les variations géométriques du bâtiment ne contribuent pas au performance gap. En plus des plans d'exécution, d'autres documents, tels que les descriptifs des projets réalisés, les détails de conformité et les spécifications des entreprises, ont été demandés aux architectes. Ces compléments garantissent une compréhension précise de la manière dont les projets ont été réalisés, ainsi qu'une évaluation correcte des quantités et de la nature des matériaux réellement utilisés en phase d'exécution. Ces informations peuvent être comparées avec les choix constructifs prévus lors de la phase d'autorisation de construire, afin de relever toute éventuelle modification des compositions des MC pouvant exercer une influence sur l'impact carbone final des éléments constructifs.

D'autres éléments du métré sont volontairement simplifiés ou encore non quantifiés, car jugés peu pertinents pour les objectifs du projet de recherche. Par exemple, les portes intérieures ou encore les installations sanitaires ne sont pas quantifiées. Les installations techniques sont évaluées à partir d'un ratio appliqué à la SRE, en fonction des choix techniques retenus. De même, les matériaux des sous-sols sont déterminés à l'aide de ratios basés sur les volumes concernés. Les protections solaires, telles que les stores à lamelles ou toiles, sont intégrées à travers des ratios appliqués aux surfaces vitrées.



Le tableau ci-dessous synthétise l'avancement des métrés et des ACV des WP2 et WP3.

	Nom Projet	WP2			WP3	
		Métrés AP	ACV SIA 2032	ACV MC BdD	Métrés EXE	ACV EXE
1	Epauvillers	réalisé	réalisé	En attente de la base de données WP1	réalisé	réalisé
2	Arconciel	réalisé	en cours		réalisé	en cours
3	Riaz - bâtiment A	à réaliser	à réaliser		réalisé	en cours
4	Equilibre	à réaliser	à réaliser		réalisé	en cours
5	Bistoquette - bâtiment C	à réaliser	à réaliser		en cours	à réaliser
6	Grands Chênes - bâtiment A	à réaliser	à réaliser		à réaliser	à réaliser
7	Plaine-de-Loup - bâtiment SILL	à réaliser	à réaliser		à réaliser	à réaliser
8	Paix	à réaliser	à réaliser		en cours	à réaliser
9	Grand-Esserts - bâtiment A2	à réaliser	à réaliser		en cours	à réaliser

Tableau 7: Synthèse de l'avancement des métrés et des ACV (AP et EXE) par bâtiment

Production :

- Modèle des métrés
- Métrés et ACV

Livrable :

- Modèle des métrés, d'ACV et de comparaison
- Première partie des métrés
- Première partie des ACV

Avancement : 30%

Reste à produire :

- Métrés des bâtiments restants
- ACV AP, AP TypoBuildZero et EXE



3 Conclusions et perspectives

L'analyse des catalogues de macro-composants disponibles en Suisse (Lignum, Bauteilkatalog, Miner-gie) a mis en évidence plusieurs limites majeures. D'une part, la coexistence de formats hétérogènes (JSON, web, PDF, Excel) et de structures incompatibles empêche une utilisation directe et unifiée de ces bases de données. D'autre part, des incohérences, des valeurs erronées ainsi que de nombreuses lacunes ont été relevées : manque de diversité pour certains systèmes constructifs, absence ou insuffisance de données acoustiques et incendie, absence totale d'informations structurelles (par ex. portées admissibles). De plus, les catalogues offrent peu ou pas d'outils d'aide à la sélection en fonction d'exigences de projet clairement formulées. Ces constats montrent que les bases existantes ne peuvent pas être utilisées telles quelles comme support fiable pour une conception compatible avec les objectifs net-zéro.

Pour répondre à ces limites, le WP1a a permis de poser les fondations d'une base de données commune de macro-composants : harmonisation des formats, définition d'une structure centrée sur les informations indispensables (métadonnées, couches, matériaux), vérification et correction systématique des données, et mise en place d'un algorithme de recalcul des métadonnées clés (épaisseur, masse, valeur-U, impact carbone) à partir des couches. Parallèlement, le WP1b a structuré les exigences fonctionnelles (feu, acoustique, thermique, carbone) pour les archétypes de logement étudiés, en les ramenant à des valeurs limites ou cibles directement utilisables pour le filtrage des macro-composants. Le développement de l'outil Autospec s'appuie sur ces résultats : il fournit, en phase d'avant-projet, des limites adaptées (par ex. valeur U maximale, exigences REI, niveaux d'affaiblissement acoustique visés) et permet de filtrer et trier les MC de la base selon ces exigences ou selon des critères carbone. Cet outil constitue un maillon central entre les normes, les bases de données de MC et la pratique de conception en AP.

Le WP2 a, quant à lui, introduit un modèle de métrés basé sur le code eCCC-bât, garantissant une structure commune pour les ACV et la quantification des matériaux. Ce modèle est conçu pour assurer la comparabilité des analyses entre l'ACV d'avant-projet réalisée avec la méthode simplifiée de la SIA 2032, l'ACV en AP utilisant les macro-composants de la base TypoBuildZero filtrés par Autospec, et l'ACV en phase d'exécution (EXE). Les premiers tests sur un bâtiment pilote ont permis d'ajuster et de stabiliser ce modèle de métrés, qui est désormais opérationnel pour l'ensemble des 9 cas d'étude. Le WP3 a pu démarrer en parallèle pour valider le workflow complet, de l'AP à l'EXE, et vérifier que les outils développés (base de données, Autospec, modèle de métrés) sont effectivement applicables à des projets réels.

Les travaux réalisés jusqu'ici ont également mis en lumière plusieurs défis méthodologiques et pratiques qui orientent déjà des recommandations. L'absence d'exigences structurelles dans les catalogues de MC apparaît comme une lacune critique pour garantir une comparabilité « à fonction équivalente » entre solutions constructives. L'intégration de ces exigences dans les bases de données futures (ou dans des modules complémentaires) constitue donc une première recommandation claire. Sur le plan acoustique, les limites des données disponibles et le caractère prédictif des méthodes de calcul imposent de restreindre les ambitions à des stratégies pragmatiques : épuration des bases de données, sélection de solutions réalistes et économiquement viables, validation ciblée par un expert sur un nombre limité de configurations et définition de géométries de référence standardisées.

La suite du projet s'articulera autour de trois axes principaux. Premièrement, la finalisation de la base de données de macro-composants (vérification complète, corrections finales, enrichissement ciblé) et l'achèvement du développement d'Autospec, avec la stabilisation de ses modules thermiques, feu et acoustique, ainsi qu'une première réflexion sur une budgétisation carbone par famille de MC en cohérence avec la SIA 390/1 et le MoPEC. Deuxièmement, la poursuite des métrés et des ACV pour les 9 cas d'étude, en AP (méthode simplifiée SIA 2032 et AP TypoBuildZero) puis en EXE, afin de quantifier le « performance gap » carbone lié à la précision des méthodes, aux choix typologiques et aux exigences fonctionnelles. Troisièmement, la formulation de recommandations à l'intention des offices, des



catalogues de MC et de la pratique (architectes, ingénieurs, producteurs) pour améliorer les bases de données existantes, renforcer la fiabilité des évaluations en avant-projet et réduire l'écart entre conception préliminaire et bilan carbone réalisé. Ces résultats visent, à terme, à contribuer de manière concrète à l'atteinte des objectifs d'impact carbone net-zéro pour le parc bâti résidentiel suisse.

4 Bibliographie

- [1] Holliger Consult GmbH, Bauteilkatalog, (n.d.). <https://www.bauteilkatalog.ch/fr/catalogues/catalogue.aspx/lng-fr/navid-3/> (accessed November 12, 2025).
- [2] R. Thalmann, J. Lengacher, P. Gressler, Aufbauten für Minergie-Nachweis Bereich Erstellung, (2023).

5 Annexes

- 1) Fiches techniques des 9 cas d'étude sélectionnés (+2 présélections)
- 2) Matrice de choix des 16 potentiels cas d'étude
- 3) Structure de base des données de MC
- 4) Scripts Python
 - pour obtenir les MC Lignum
 - passer de la structure Lignum à celle de TypoBuildZero
- 5) Base de données
 - des matériaux harmonisées, vérifiée et complétée (116 matériaux)
 - des macro-composants corrigée et complétée (155 MC)
- 6) Outil d'exigence Autospec
- 7) Tableau de synthèse des exigences feu
- 8) Tableau de synthèse des exigences acoustiques
- 9) Première partie des métrés et ACV (modèle de métré et d'ACV)