

Abstract

The Paris agreement on climate change called for carbon neutrality as of 2050. The built environment is one of the major contributors to the greenhouse effect, representing 39% of global emissions. As a result, this sector is targeted by green standards and regulations to set limits for building carbon emissions.

Life Cycle Assessment (LCA) is widely recognized as an appropriate method to measure these emissions. This is particularly critical at the early design stage where the decisions that most influence the project are made. However, previous studies show that current LCA methods, both time-consuming and requiring a high resolution of detail, are most inadequate, which makes them too rarely used by practitioners today.

This thesis aims to tackle this issue by proposing a novel approach to LCA adapted to the early design context. The first step was the identification of obstacles responsible for the current low use of LCA. This analysis was based on an extensive survey about the practice of 500 architects and engineers in Europe. Secondly, a literature review identified four appropriate techniques to overcome these obstacles: parametric assessment, sensitivity analysis, target cascading and data visualization. Combining them to the LCA led us to the data-driven method for low-carbon building design at early stages we adopted in this thesis, removing the need to set premature assumptions about future design developments.

The method proposes a knowledge-database of design alternatives generated with a parametric approach that applies a combination of user-defined design options, using the Saltelli sampling technique, to a project-specific massing scheme. Later, the carbon emissions of each of these design alternatives are calculated. It is thus possible to explore thousands of alternatives and understand the consequences of architectural choices on the carbon emissions by using data visualization techniques. Moreover, the method proposes Sobol sensitivity indices quantifying the design parameter influence on the carbon emissions, in order to limit the scope of building components that designers should prioritize. Finally, the method specifies carbon budgets, the upper limit of carbon emissions a building component should not exceed, with the possibility to compare this budget with any product available on the market that would not have been included upfront as a design option in the parametric approach.

To assess the usability of the method, a computer-based prototype was thereafter developed to get it tested in the frame of a real design project. By taking advantage of the architectural competition for the Smart Living Lab in Fribourg, Switzerland, this critical testing phase was carried out by asking the practitioners involved to actually use the developed prototype to meet the SIA2040 carbon objectives set for the project.

This thesis proposes a new method for effectively integrating GHG emission targets into the early stages of the design process with the aim to increase both acceptance and use of LCA in the design field, but also to inspire developers towards a new generation of LCA software.

Keywords: Life Cycle Assessment, design support, parametric assessment, sensitivity analysis, target cascading, data visualization, usability

Résumé

L'accord de Paris sur le changement climatique exige une neutralité carbone dès 2050. Par ailleurs, l'environnement bâti est l'un des principaux contributeurs à l'effet de serre, représentant 39 % des émissions mondiales. C'est pourquoi ce secteur est particulièrement visé par la législation et les normes environnementales pour fixer des limites aux émissions de carbone des bâtiments.

L'analyse du cycle de vie (ACV) est largement reconnue comme une méthode de référence pour mesurer ces émissions. Elle est primordiale au début de la conception, où les décisions influencent le plus la performance d'un bâtiment. Cependant, de précédents travaux montrent que les méthodes d'ACV actuelles y sont inadéquates car chronophages et exigeant une haute résolution de détails. Elles sont ainsi trop rarement utilisées dans la pratique aujourd'hui.

En conséquence, cette thèse propose une nouvelle approche de l'ACV, adaptée au contexte amont de la conception. La première étape a consisté à identifier les obstacles responsables de sa faible utilisation. Cette analyse s'est appuyée sur une enquête auprès de 500 architectes et ingénieurs en Europe. Ensuite, une revue de la littérature a identifié quatre techniques appropriées pour surmonter ces obstacles : l'évaluation paramétrique, l'analyse de sensibilité, la mise en cascade des cibles et la visualisation des données. La combinaison de ces techniques à l'ACV nous a conduit à proposer une méthode pilotée par les données pour la conception de bâtiments à faibles émissions de carbone, éliminant ainsi la nécessité de poser des hypothèses prématurées sur les futurs détails de conception.

La méthode propose une base de données de connaissances d'alternatives de conception générée par une approche paramétrique qui applique une combinaison d'options de conception définies par l'utilisateur, à l'aide de la technique d'échantillonnage de Saltelli, à une volumétrie de projet spécifique. Par la suite, les émissions de carbone de chacune de ces options de conception est calculée. Il est ainsi possible d'explorer des milliers d'alternatives et de comprendre les conséquences des choix architecturaux sur ces émissions en utilisant des techniques de visualisation de données. La méthode calcule des indices de sensibilité de Sobol quantifiant l'influence des paramètres de conception sur les émissions carbone, permettant aux concepteurs de prioriser les éléments de construction à prendre en considération. Enfin, elle propose des budgets carbonés, soit la limite supérieure des émissions qu'un élément de construction ne doit pas dépasser, avec la possibilité de comparer ce budget avec tout produit disponible sur le marché qui n'aurait pas été inclus initialement dans l'approche paramétrique.

Afin d'évaluer l'utilisabilité de la méthode, un prototype informatique a été mis au point et testé dans le cadre réel d'un projet. Cette phase de test critique a été réalisée en demandant aux praticiens impliqués dans le concours d'architecture pour le Smart Living Lab à Fribourg, en Suisse, d'utiliser le prototype développé pour atteindre les cibles GES de la norme SIA2040.

Cette thèse propose une nouvelle méthode pour intégrer efficacement les objectifs d'émissions de GES dans les premières étapes du processus de conception, pour augmenter à la fois l'acceptation et l'utilisation de l'ACV dans le domaine de la conception, mais aussi pour inspirer les développeurs vers une nouvelle génération de logiciels d'ACV.

Mots clés : Analyse de Cycle de Vie, aide à la conception, évaluation paramétrique, analyse de sensibilité, objectifs en cascade, visualisation des données, utilisabilité