



THÈSE DE DOCTORAT
de l'École des Ponts ParisTech

Exploration structurelle et environnementale des ouvrages en bois de grande portée

Koliann MAM, Thèse de Doctorat, 2021

Convention CIFRE 2017-3577

Encadrement : Robert LE ROY^(a,b)
Cyril DOUTHE^(a)
François CONSIGNY^(c)

(a) Laboratoire Navier, Ecole des Ponts ParisTech, 77455 Marne la Vallée Cedex 2, France

(b) Laboratoire GSA (Géométrie, Structure, Architecture), ENSA Paris Malaquais, 75272 Paris Cedex 06, France

(c) Elioth (Egis Concept), Groupe Egis, 93188 Montreuil Cedex, France

Mots-clés : structures, bois, ACV, optimisation, assemblages, grande portée

Résumé

Cette thèse explore les leviers d'optimisation des structures en bois de grande portée tant sur le plan des critères usuels de conception des structures, que sur le plan des impacts environnementaux. L'essor actuel de la construction bois encourage en effet les ingénieurs à s'interroger en profondeur sur les typologies structurelles et les principes constructifs adaptés à ce matériau, notamment autour du comportement mécanique, des moyens de mise en œuvre et du coût des assemblages.

Nous développons dans un premier temps de développer un modèle statistique permettant d'obtenir une loi de comportement simplifiée des raideurs et de la masse d'un assemblage par broches à partir d'un nombre restreint de variables d'entrée (torseur (N,V,M) et facteur de forme de la section) et pouvant être utilisé facilement dans des modèles de calcul de structure. Puis, nous illustrons comment la simple prise en compte du comportement semi-rigide des assemblages peut directement influencer la géométrie et la topologie optimale d'un exosquelette en bois.

Par ailleurs, les assemblages, qui concentrent les procédés d'usinage les plus complexes de l'ouvrage, ne peuvent pas être négligés dans le bilan économique et environnemental d'une structure en bois. Dans la suite nous présentons un cadre d'évaluation des impacts environnementaux des structures en bois, intégrant les assemblages et adapté aux premières phases de la conception, là où se font les choix les plus fondamentaux. Ce travail de recherche nous conduira à introduire des méthodes de sélection et de réduction du nombre d'indicateurs. L'utilisation des métriques de type *endpoint* permet tout d'abord d'évaluer sur une échelle commune la contribution de différentes catégories à l'impact total d'un système, et ainsi d'en sélectionner les plus pertinentes. Puis, nous proposons l'utilisation d'un indice de corrélation en classement et en étendue afin de sélectionner les indicateurs non corrélés pour un ensemble de scénarios donné.

Finalement, à l'aune de cette sélection d'indicateurs et du modèle d'assemblage simplifié développé dans ce travail, cette thèse explore dans la dernière partie les voies d'optimisation structurelle et environnementale des ouvrages en bois de grande portée. Au travers de l'étude de deux types de structure, le treillis et le *gridshell*, nous illustrons l'importance de la conception et du comportement des assemblages en lien avec la continuité des éléments, la densité des connexions ou encore le choix des matériaux.

Abstract

This thesis investigates the levers for optimizing long-span timber structures both on the mechanical and on the environmental levels. The current development of timber construction urges designers to question in depth the structural systems and construction principles suited to this material and particularly to reflect upon the mechanical behavior, the manufacturing and the cost of timber connections.

First, using a statistical approach, we propose to develop a simplified model to assess the stiffness and the mass of a dowel connection based on a limited number of input variables ((N, V, M) torsor and cross-section form factor), so that it can be easily used in structural design models. Then, through a simple illustrative example, we study the impact of semi-rigid connections on the shape optimization of a glulam-braced frame, part of the lateral load resisting systems of a high-rise building.

Furthermore, the connections, which often requires the most complex manufacturing process, cannot be overlooked when assessing the costs and environmental impacts of a timber structure. Therefore, we present a life cycle analysis (LCA) framework for evaluating the environmental impacts of a timber structure with a particular focus on connections and especially suited to the first phases of the design during which the most fundamental choices are made. To that end, we introduce methods for selecting and reducing the number of LCA indicators. First, the contribution of midpoint indicators to endpoint impacts is analyzed to identify the most relevant indicators that dominate the absolute impact of the system on the damage level. Secondly, we propose the use of a ranking and range error index (RREI) to select uncorrelated indicators over a given set of scenarios.

In light of the proposed limited set of indicators and the simplified model of dowel-type connections developed in this work, we finally investigate ways of optimizing long-span timber structures. Through two case studies, one on a truss and one on a gridshell, we illustrate the centrality of the design and behavior of connections in relation to the continuity of the elements, the density of the connections and the choice of materials in the structure.