

**Titre :** Evaluation environnementale des procédés composites pour l'analyse multicritère des systèmes de production : méthodologies, outils et applications

**Mots clés :** Composites thermoplastiques, Procédés de fabrication, Impacts environnementaux, Analyse multicritère, Thermoformage-estampage, C/PPS

**Résumé :** Dans le contexte actuel de transition environnementale, cette thèse vise à participer à la réduction des impacts environnementaux de la fabrication de pièces en composites, qui est un secteur en croissance depuis plusieurs années. Pour cela, une méthodologie d'analyse environnementale spécifique aux procédés composites est fondamentale pour développer et évaluer des stratégies de réduction des impacts environnementaux. Pour être applicables dans l'industrie, ces stratégies se doivent de respecter les impératifs techniques et économiques des entreprises. Pour réaliser des évaluations environnementales, la méthode standardisée d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) peut être employée. Cependant, le caractère général de cette approche laisse des latitudes sur son application qui n'ont pour le moment pas fait l'objet d'un consensus de la part de la communauté scientifique dans le cas des procédés composites.

Ces travaux de thèse proposent alors des précisions de chaque étape de la méthode ACV pour construire une modélisation des impacts environnementaux du procédé qui dépendent de ses paramètres, comme par exemple les températures de mise en forme et les efforts de consolidation. Une approche similaire est également développée pour l'évaluation d'indicateurs économique également fonction de ces paramètres. Des outils d'exploitation multicritères sont enfin proposés pour trouver des réponses à l'objectif de réduction les impacts environnementaux et le coût de fabrication tout en assurant la conformité au cahier des charges techniques des pièces produites. Dans ce mémoire, le cas du thermoformage-estampage de pièces en polysulfure de phénylène renforcées par des fibres de carbone (C/PPS) est étudié pour appuyer la construction et la présentation des méthodologies proposées.

**Title :** Environmental assessment of composite manufacturing processes for the multi-criteria analysis of manufacturing systems : methodologies, tools and applications

**Keywords :** Thermoplastic composites, Manufacturing process, Environmental impact, Multi-criteria assessment, Thermo-stamping, C/PPS

**Abstract :** In the current context of environmental transition, this thesis aims to participate in the reduction of environmental impacts related manufacturing of composite parts, which has been a growing sector for several years. To this purpose, an environmental assessment methodology dedicated to composite manufacturing processes is fundamental to develop and evaluate strategies for reducing environmental impacts. To be applicable in the industry, these strategies must respect the technical and economic imperatives of companies. To carry out environmental assessments, the standardized Life Cycle Assessment (LCA) method can be used. However, the general nature of this approach leaves latitudes on its application which have not been yet the subject of a scientific consensus in the case of composite manufacturing.

Thus, our work proposes details for each step of the LCA method to build a model of the environmental impacts of the manufacturing process which depend on its parameters, such as the forming temperatures and the consolidation efforts. A similar approach is also developed for the evaluation of economic indicators based on the same parameters. Finally, multi-criteria decision-making tools are offered to find solutions to the objective of reducing environmental impacts and manufacturing costs while ensuring compliance with the technical specifications of the parts produced. In this thesis, the case of thermo-stamping of polyphenylene sulfide reinforced with carbon fibres (C/PPS) parts is studied to support the construction and presentation of the proposed methodologies.