

# La conception générative comme outil de conception pour le génie civil

Ing. M. SZIKORA– Ir. M. LAITAT  
ECAM – Bruxelles

## 1. Introduction

La digitalisation a révolutionné de nombreux secteurs, y compris le génie civil. Face aux enjeux environnementaux, minimiser l'impact écologique de la construction est devenu crucial. Des technologies émergentes ouvrent la voie à la réduction de la quantité de matériau nécessaire tout en maintenant la résistance et la fonctionnalité des structures. Cependant, le génie civil implique des décisions complexes en raison de paramètres interdépendants. Comment trouver la solution optimale qui allie objectifs de conception et contraintes environnementales ?

La conception générative, basée sur l'IA et l'apprentissage automatique, représente une réponse innovante à ce défi. Cette étude se penche sur son application dans le génie civil, en utilisant une passerelle comme exemple. Elle démontre comment la conception générative peut générer des solutions optimales, réduisant considérablement la quantité de matériau requise pour la construction.

## 2. La conception générative dans le génie civil

### 2.1. Définition

La conception générative, au sein du génie civil, est un processus itératif qui exploite un logiciel informatique pour générer diverses solutions en réponse à des contraintes spécifiques, tout en permettant aux concepteurs d'affiner leur recherche. L'intelligence artificielle, notamment l'apprentissage automatique, joue un rôle clé en évaluant itérativement chaque variante générée, permettant ainsi de générer un grand nombre de possibilités, ouvrant la voie à des conceptions innovantes et optimales.

Contrairement à d'autres approches, la conception générative ne nécessite pas de forme de départ modélisée par un humain, libérant ainsi les ingénieurs de tâches fastidieuses pour se concentrer sur des décisions stratégiques. Son application vise à

optimiser la quantité de matière tout en maintenant la sécurité et la durabilité des ouvrages, offrant des avantages significatifs pour l'industrie de la construction.

## 2.2. Application à un cas pratique

Dans ce chapitre, nous explorons l'application de la conception générative à un projet concret, en l'occurrence une passerelle à Wanze, Belgique, qui enjambe la rivière du Meuhaigne, participant à l'aménagement du RAVEL. La passerelle, avec ses caractéristiques de 25,6 mètres de portée et 4 mètres de largeur, est composée d'acier de type S235, adoptant une structure en treillis isostatique pour garantir une stabilité optimale avec un poids minimal.

Les charges, conformes aux normes européennes, englobent les charges permanentes, variables, et les charges de vent, évaluées dans diverses combinaisons.

Pour cette étude de conception générative, nous avons utilisé le logiciel Fusion 360. La modélisation comprenait une représentation géométrique détaillée de la passerelle, incluant les culées du pont et le gabarit fluvial. Les paramètres clés ou contraintes tels que les conditions géométriques, les charges, et les critères de design ont été soigneusement définis. De plus, divers matériaux ont été envisagés pour la construction, chacun avec ses propriétés mécaniques spécifiques.

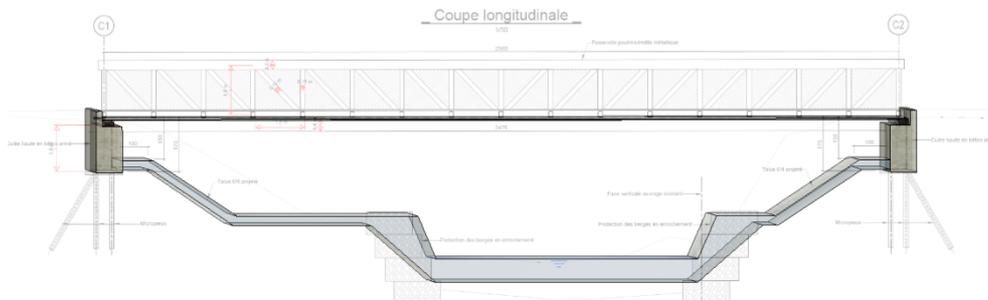


Figure 1 : Modèle 3D dans Fusion 360

Ce chapitre éclaire sur la démarche de conception générative, jetant les bases pour une comparaison future entre cette approche et la méthode conventionnelle, en vue de déterminer la solution optimale pour la passerelle.

## 3. Analyse des résultats

Plus de 300 solutions ont été générées pour la structure de la passerelle, en mettant l'accent sur les matériaux composites en CFRP.

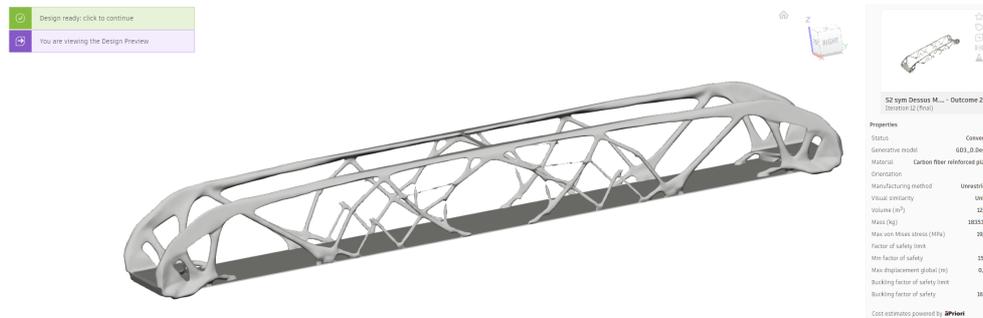


Figure 2 : Solution optimale en CFRP après une itération

L'analyse qualitative des résultats révèle une variété de solutions, certaines optimales en termes de légèreté et de résistance. Cependant, une première série de simulations a montré que ces solutions n'étaient pas entièrement optimisées en termes de sécurité avec le logiciel F360.

Pour améliorer les résultats, des itérations et des vérifications aux éléments finis ont été effectuées. Les résultats des simulations aux éléments finis diffèrent de ceux de la conception générative, ce qui souligne la nécessité de vérifier les solutions générées.

En fin de compte, la conception générative offre des opportunités créatives, mais de nos jours des vérifications sont nécessaires pour évaluer la stabilité structurelle.

#### 4. Comparaison avec une approche classique de construction

Dans ce chapitre, nous examinons divers aspects clés liés aux solutions générées par la conception générative, y compris la quantité de matériaux, l'énergie grise, les coûts et une analyse multicritère.

Nous commençons par évaluer la quantité de matériaux utilisée dans différentes solutions en fonction des modèles géométriques et des matériaux. Les résultats mettent en évidence des tendances significatives, montrant que certaines configurations sont plus légères que d'autres, tandis que le matériau béton ne s'est pas avéré optimal.

Une analyse de l'énergie grise, également connue sous le nom d'Analyse de Cycle de Vie (ACV), est cruciale. Elle quantifie l'ensemble de l'énergie dépensée tout au long du cycle de vie du produit, de la conception à la fabrication, à l'utilisation et jusqu'à la fin de vie du produit.

L'Environnemental Cost Indicator (MKI) est utilisé pour regrouper les impacts environnementaux en un seul score de coûts environnementaux, exprimé en euros par

kilogramme de polluant. Les résultats révèlent des différences significatives entre les différents matériaux étudiés.

Matériaux	Mki [€/kg]
FRP Verre	0,80 €
FRP Carbone	12,13 €
PET	1,30 €
Acier	0,76 €
Acier inoxydable AISI304	13,44 €
C30/37	0,03 €
C80/95	0,06 €
C40/50	0,04 €

Figure 3 : Résultat du MKI pour chaque matériau à partir de fiches EPD

En ce qui concerne les coûts, une estimation des prix bruts des matériaux a été réalisée, bien que certains coûts tels que le transport et la main-d'œuvre ne soient pas inclus. Cette analyse vise à fournir une base de comparaison des coûts entre les matériaux utilisés.

Enfin, une analyse multicritère est effectuée en prenant en compte plusieurs objectifs, notamment le coût, l'impact environnemental, la masse des matériaux et le facteur de sécurité. Les résultats révèlent que le béton peut être compétitif en termes de coût et d'impact environnemental, sous réserve de prendre en compte les coûts de transport. Les composites en fibre de verre offrent un faible impact environnemental, tandis que les structures en PET présentent des résultats prometteurs en termes de coût.

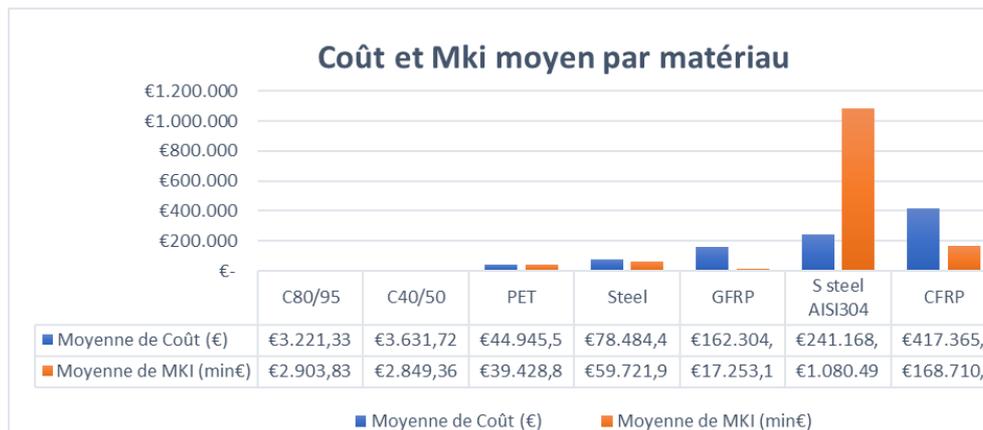


Figure 4 : Coût et MKI moyen par matériau avec GD 2x

Le choix de la meilleure solution dépendra des priorités spécifiques du projet, qu'il s'agisse de minimiser les coûts, de réduire l'impact environnemental ou d'autres critères pertinents.

## 5. Conclusion

En conclusion, la conception générative, en tant que technologie révolutionnaire dans le domaine de l'ingénierie et de la conception, offre des avantages indéniables pour la création de produits, de structures et de systèmes. Toutefois, cette approche n'est pas dépourvue d'idées reçues et de limitations bien réelles qui méritent d'être prises en compte.

L'une des idées préconçues les plus courantes concerne le remplacement potentiel des concepteurs humains par l'intelligence artificielle. Il est essentiel de reconnaître que la conception générative agit en tant qu'outil d'assistance, complétant le travail des concepteurs plutôt que de le remplacer. L'expertise humaine demeure irremplaçable pour définir des objectifs, des contraintes et évaluer les solutions générées.

De plus, bien que la conception générative puisse générer des solutions optimisées, elle ne peut pas créer des idées totalement nouvelles. Elle dépend des données d'apprentissage existantes et des algorithmes d'optimisation, nécessitant toujours une contribution humaine pour les idées initiales.

Les coûts et la complexité associés à la mise en œuvre de la conception générative ne doivent pas être sous-estimés. Les logiciels, la préparation des données et les exigences matérielles peuvent entraîner des dépenses significatives. La gestion de la propriété intellectuelle est également une préoccupation importante, nécessitant des mécanismes de conformité.

Cependant, les résultats de notre travail montrent clairement que malgré ces défis, la conception générative offre un potentiel significatif. Nous avons pu démontrer que cette approche permet une exploration rapide de nombreuses solutions, libérant du temps pour des tâches à plus forte valeur ajoutée.

Les résultats de nos recherches soulignent les avantages de l'intégration de l'intelligence artificielle, en particulier l'apprentissage profond, pour améliorer la précision et l'innovation des solutions générées. De plus, les technologies émergentes telles que les jumeaux numériques, l'Internet des Objets et l'informatique quantique ouvrent des perspectives passionnantes pour améliorer la surveillance en temps réel et l'entretien des structures.

En fin de compte, la conception générative représente une évolution constante, repoussant continuellement les frontières de la créativité et de l'efficacité en ingénierie. Bien que des obstacles subsistent, nos résultats indiquent clairement que son potentiel demeure immense, et son impact sur l'industrie de l'ingénierie ne fait que commencer à se faire ressentir. Pour en tirer le meilleur parti, il est impératif de rester à l'affût des dernières avancées et de s'adapter à un paysage en perpétuelle évolution.

## **6. Bibliographie**

- [1] M. Szikora, «La conception générative comme outil de conception dans le génie civil,» ECAM, Bruxelles, juin 2023.