

TP 1 : Optimisation topologique

Boris Alexandre Baudel - M1 Mécatronique - ENS Rennes

1 Introduction

L'optimisation topologique est une méthode mathématique et computationnelle utilisée en ingénierie pour concevoir des structures, des composants ou des matériaux optimisés en termes de performance et d'efficacité. Elle consiste à trouver la meilleure distribution de matériel au sein d'un espace donné, en respectant certaines contraintes et en cherchant à atteindre des objectifs spécifiques de performance. L'objectif principal de l'optimisation topologique est de déterminer où placer le matériau dans un volume de conception donné pour obtenir les meilleures performances tout en minimisant le poids et les coûts. Cela peut signifier, par exemple, réduire la masse d'une pièce tout en conservant sa résistance et sa rigidité. L'optimisation topologique utilise des algorithmes avancés qui explorent différentes configurations de matériaux. Ces algorithmes sont souvent basés sur des principes de calcul numérique, tels que la méthode des éléments finis (MEF), pour modéliser et analyser le comportement des structures sous diverses contraintes et charges.

1. **Fonction Objectif** : Minimiser la compliance de la structure.

$$C = \mathbf{u}^T \mathbf{K} \mathbf{u} \quad (1)$$

où C est la compliance, \mathbf{u} est le vecteur des déplacements nodaux, et \mathbf{K} est la matrice de rigidité globale de la structure.

2. **Contraintes de Volume** : Limiter le volume total de matériau.

$$V(\rho) = \sum \rho_i V_i \leq V^*, \quad (2)$$

où ρ_i représente la densité de matériau dans l'élément i , V_i est le volume de cet élément, et V^* est le volume total autorisé de matériau.

3. **Équations d'Équilibre** : Respecter les équations d'équilibre mécanique.

$$\mathbf{K}(\rho) \mathbf{u} = \mathbf{f}, \quad (3)$$

où \mathbf{f} est le vecteur des forces externes.

Nous allons d'abord fabriquer la pièce qui va être optimisée. Nous devons placer un effort qui se situe à une distance. La démarche de conception d'une pièce sous optimisation doit suivre la démarche de la figure 1. Dans notre cas, nous voulons diminuer la masse de 80 % tout en conservant la rigidité.

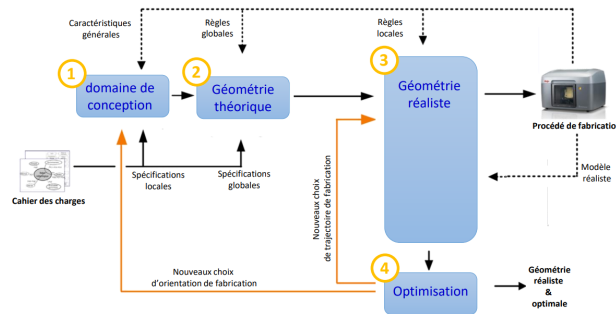


FIGURE 1 – Schéma d'optimisation topologique.

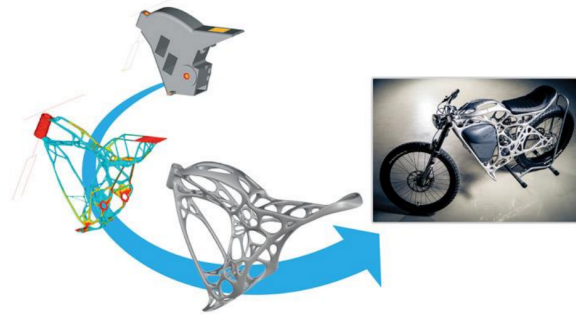


FIGURE 2 – Schéma d'optimisation topologique.

2 Première pièce

L'optimisation topologique se fera sur une pièce plutôt simple, on va effectuer une diminution de matière de 80%. Le but sera ensuite de modifier notre pièce principale en fonction de la simulation que nous obtenons sur le logiciel SolidWorks. Nous faisons donc une optimisation topologique sur la pièce en termes de rigidité, et on diminue sa masse pour obtenir la pièce sous la forme suivante :

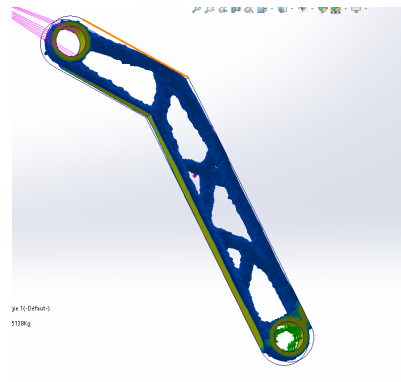


FIGURE 3 – Pièce optimisée topologiquement : Résultat

Nous devons maintenant revenir sur l'ancienne pièce et faire les esquisses afin d'optimiser notre pièce. Pour cela, nous allons procéder à un enlèvement de matière aux endroits où l'optimisation topologique a eu lieu. On obtient alors la pièce finale dans la figure 4.

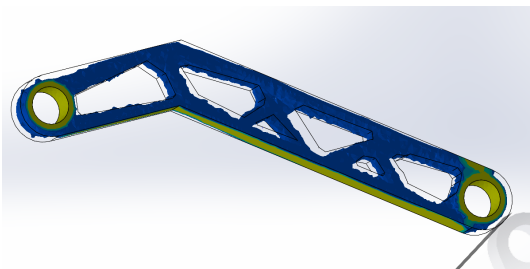


FIGURE 4 – Esquisse qui permet l'enlèvement de matière.

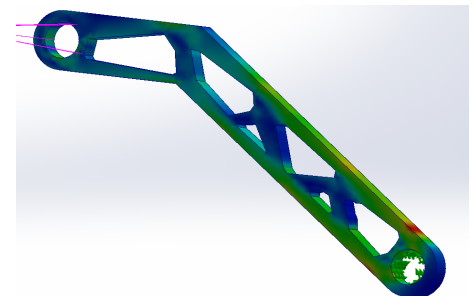


FIGURE 5 – Simulation avec la nouvelle pièce.

Maintenant nous allons lancer la simulation dans la nouvelle pièce en plaçant la force et on obtient les déplacements dans la figure 5 : Nous allons maintenant observer le coefficient de sécurité dans la figure 6. Pour cela, nous devons rappeler que le coefficient de sécurité trouvé dans la première simulation était de 90. En effet, l'épaisseur a été choisie

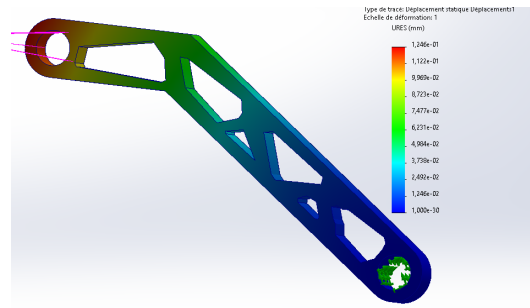


FIGURE 6 – Déplacement de la nouvelle pièce

à 30 mm. Après la modification de cette pièce, comme nous avons pu l'observer dans la figure 4, nous obtenons un coefficient de sécurité égal à 42 (Figure 6).

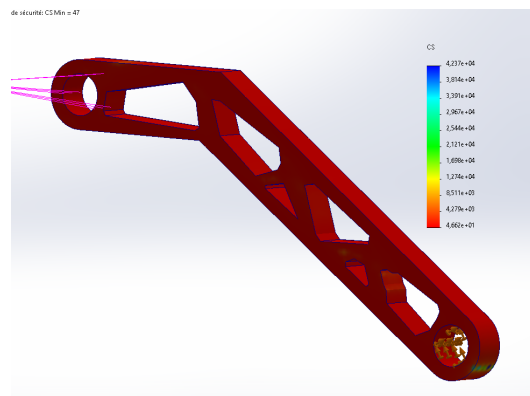


FIGURE 7 – Coefficient de sécurité

On observe alors une réduction du coefficient de sécurité, passage de 108 à 42. Ce qui est logique, étant que la pièce a été optimisée pour de la rigidité avec une diminution de masse.

3 Deuxième pièce

La deuxième pièce, illustrée par la figure 7, devra être optimisée de façon à conserver les surfaces des trous de la partie supérieure et ceux des parties inférieures. L'objectif sera de diminuer la masse de 80 %, tout en conservant la rigidité de la pièce, qui sera soumise à un effort de 300 N et à deux moments de 5 N.m selon deux axes différents.

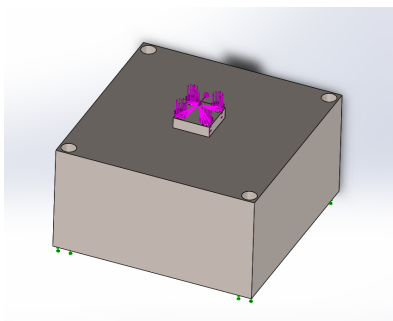


FIGURE 8 – Coefficient de sécurité

Les propriétés du matériau choisi sont visibles dans la figure 9 ; il s'agit d'un acier allié. On peut relever les caractéristiques mécaniques et thermiques du matériau utilisé. En effet, les caractéristiques du matériau changent la manière dont la forme de l'optimisation topologique sera appliquée sur la pièce.

Propriété	Valeur	Unités
Module d'élasticité	2.1e+11	N/m ²
Coefficient de Poisson	0.28	S.O.
Module de cisaillement	7.9e+10	N/m ²
Masse volumique	7700	kg/m ³
Limite de traction	723825600	N/m ²
Limite de compression		N/m ²
Limite d'élasticité	620422000	N/m ²
Coefficient de dilatation thermique	1.3e-05	/K
Conductivité thermique	50	W/(m.K)
Chaleur spécifique	460	J/(kg.K)
Rapport d'amortissement du matériau		S.O.

FIGURE 9 – Matériau

Une fois la pièce faite, nous allons lancer la simulation de l'optimisation. On peut relever la masse qui est maintenu et on peut choisir à quelle point la forme de la pièce sera dense ou pas.

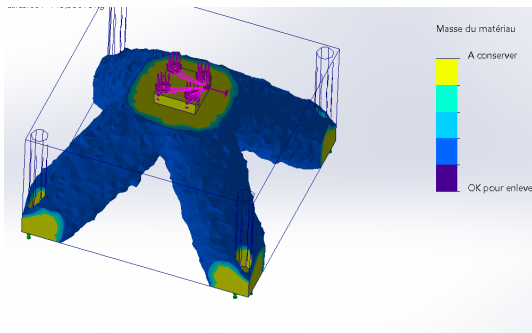


FIGURE 10 – Esquisse qui permettent l'enlèvement de matière.

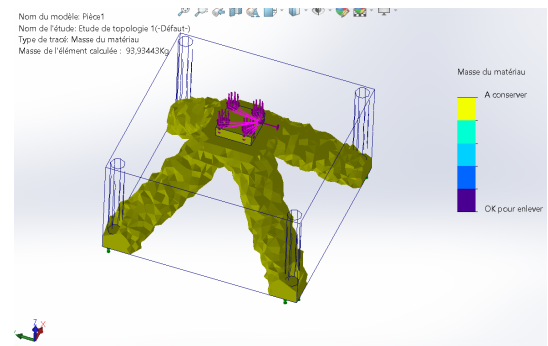


FIGURE 11 – Simulation avec la nouvelle pièce.

En résumé, nous pouvons donc extraire un coefficient de sécurité de 92 pour la pièce qui n'a pas été optimisée. Si on l'optimise on devrait retrouver une valeur plus faible de l'ordre de 30.

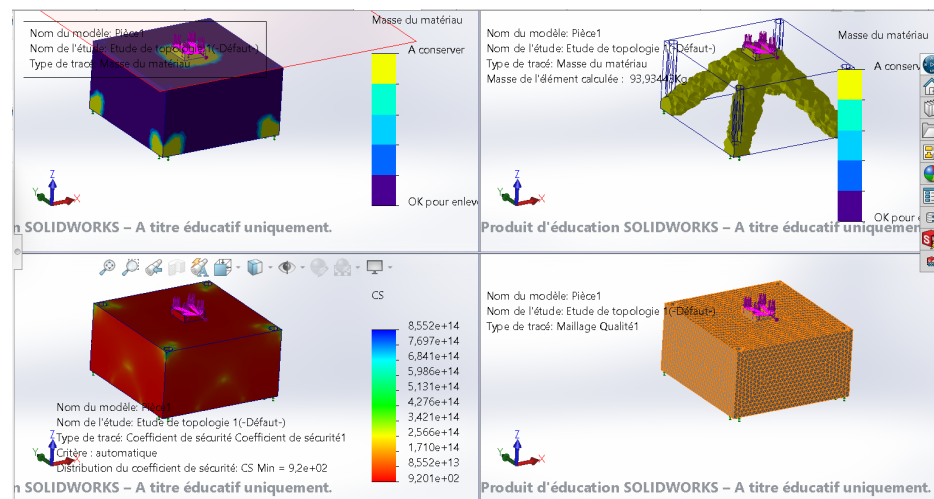


FIGURE 12 – Résultats

4 Conclusion

En conclusion, ce TP met en lumière l'efficacité de l'optimisation topologique dans la conception de pièces mécaniques, démontrant une capacité notable à réduire la masse tout en préservant ou améliorant leur rigidité et leur fiabilité. Les résultats obtenus soulignent l'importance de cette méthode pour le développement de solutions innovantes et durables en ingénierie. Ils ouvrent également la voie à de futures recherches, notamment l'exploration de nouveaux matériaux et configurations structurales, visant à optimiser encore davantage les performances des pièces tout en minimisant les coûts et l'impact environnemental.