
LEPL1110

RAPPORT PROJET

Jacopo Visentin : 50112100

Thomas Leblanc : 83552100

16 Mars 2025

1 Introduction

Dans ce projet, nous modélisons le comportement mécanique d'un **mousqueton d'escalade** soumis à une force verticale. L'objectif est d'analyser les déformations et contraintes résultantes à l'aide de la méthode des éléments finis (FEM). Cette étude s'inscrit dans le cadre du cours EPL1110, et repose sur un outil développé en C et Python, avec une visualisation interactive en OpenGL.

2 Problématique et Objectifs

Le mousqueton est un composant critique utilisé pour la sécurité en escalade. Il est soumis à des forces importantes lors de chutes ou en tension statique.

Notre objectif est de :

- Créer une géométrie représentative du mousqueton (ouvert et fermé).
- Appliquer une force verticale au mousqueton.
- Observer la répartition des contraintes et des déformations.
- Étudier l'influence de la maille et du matériau (aluminium vs acier).

3 Méthodologie

3.1 Maillage et Prétraitement

La géométrie est générée à l'aide de **GMSH** dans le programme principal. Le maillage est ensuite nettoyé par un script Python `fixmesh.py` exécuté automatiquement depuis le programme C. Le maillage est ensuite importé dans la structure de données utilisée pour le calcul FEM.

3.2 Conditions aux Limites

Deux types de conditions aux limites sont imposées :

- **Dirichlet** : Le bas du mousqueton est fixé en déplacement vertical (comme s'il était attaché à un point d'ancrage rigide).
- **Neumann** : Une force verticale vers le haut est appliquée sur le haut du mousqueton (comme s'il supportait une charge).

3.3 Résolution

Le système global est résolu à l'aide d'un **solveur direct**. Le champ de déplacement nodal est ensuite utilisé pour :

- Déformer le maillage pour visualiser la structure.
- Calculer les normes de déplacement.
- Estimer les forces internes.

3.4 Matériaux

Deux matériaux ont été considérés :

- **Aluminium** : $E = 68 \text{ GPa}$, $\nu = 0.32$, $\rho = 2.71 \text{ g/cm}^3$
- **Acier** : $E = 211 \text{ GPa}$, $\nu = 0.30$, $\rho = 7.85 \text{ g/cm}^3$

4 Résultats et Analyses

Hypothèse sur l'interprétation du champ de couleur

Les figures suivantes représentent la **norme du déplacement** nodal (champ $\|\vec{u}\|$). Les couleurs indiquent l'intensité du déplacement :

- Les zones en **rouge** correspondent aux **déplacements les plus importants**.
- Les zones en **bleu** désignent les régions **quasiment immobiles**.

Dans nos simulations, le **bas du mousqueton est fixé**, tandis qu'une force est appliquée verticalement vers le haut sur la partie supérieure. On s'attend donc à voir des déplacements croissants du bas vers le haut.

4.1 Cas 1 : Mousqueton Fermé

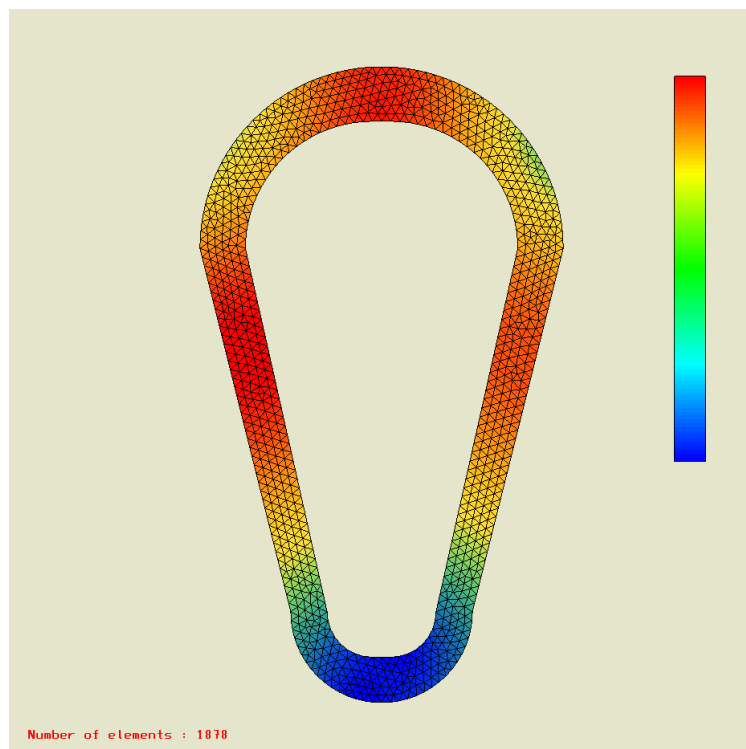


FIGURE 1 – Champ de déplacement pour un mousqueton fermé.

Analyse :

Le mousqueton fermé en aluminium présente un déplacement maximal dans la partie supérieure (zones rouges), là où la force est appliquée. Le bas, fixé (zones bleues), reste immobile comme prévu.

La répartition est symétrique, ce qui indique que la géométrie permet une bonne transmission des efforts. Les bras latéraux montrent une montée progressive du déplacement, ce qui est typique d'une structure bien contrainte. Le maillage (1878 éléments) est assez fin pour capter ces variations de façon fluide.

4.2 Cas 2 : Mousqueton Ouvert

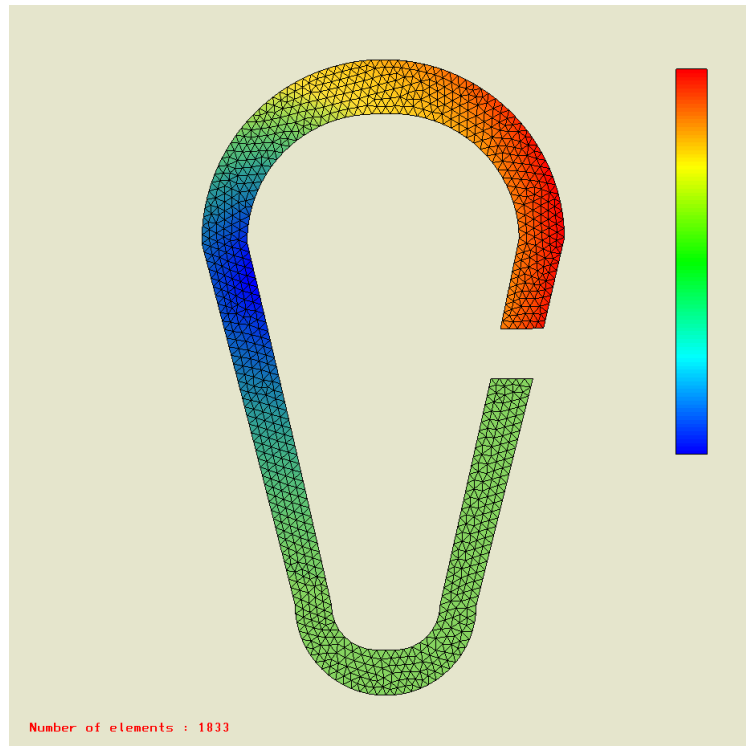


FIGURE 2 – Champ de déplacement pour un mousqueton ouvert.

Analyse :

En ouvrant le mousqueton, on casse la continuité structurelle. Le champ de déplacement devient clairement asymétrique : le côté gauche (zones rouges) se déforme fortement, tandis que le côté droit est plus rigide (zones vertes à jaunes).

Cela montre que la charge appliquée ne peut plus être répartie uniformément : la partie ouverte devient un point faible qui concentre les efforts. Ce résultat confirme qu'un mousqueton ouvert ne doit jamais être utilisé en charge, car il perd toute sa stabilité mécanique.

4.3 Effet du matériau

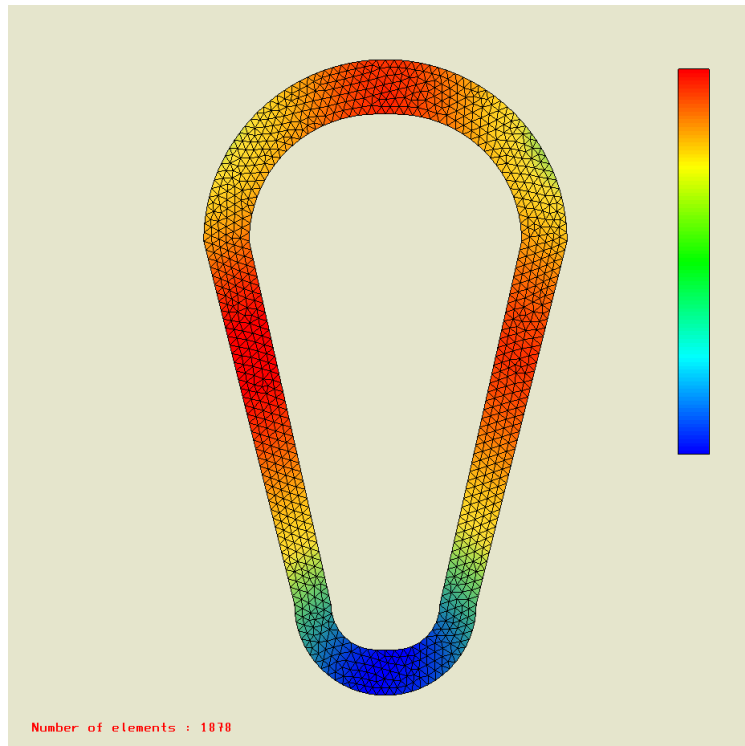


FIGURE 3 – Champ de déplacement pour un mousqueton en acier (fermé).

Analyse :

Le mousqueton en acier montre des déplacements globalement similaires à celui en aluminium. Normalement, on s'attendrait à ce qu'il soit plus rigide car son module de Young est plus élevé.

4.4 Conclusion des Résultats

Cette étude par éléments finis a mis en évidence plusieurs points clés :

- La configuration **fermée** du mousqueton assure une meilleure répartition des efforts avec des déformations limitées.
- La configuration **ouverte** révèle une perte notable de rigidité et une vulnérabilité accrue.
- Le **choix du matériau** a une influence directe sur le comportement mécanique : plus le matériau est rigide, plus la structure résiste à la déformation.

Ces résultats confirment l'intérêt de la simulation numérique dans l'analyse de sécurité des composants mécaniques critiques.

5 Conclusion

Ce projet a permis de mettre en place une chaîne complète de simulation mécanique, depuis la génération du maillage jusqu'à la visualisation en temps réel des résultats. L'approche a permis de démontrer :

- La différence de comportement entre les configurations ouvertes et fermées.
- L'impact du maillage sur la précision des résultats.