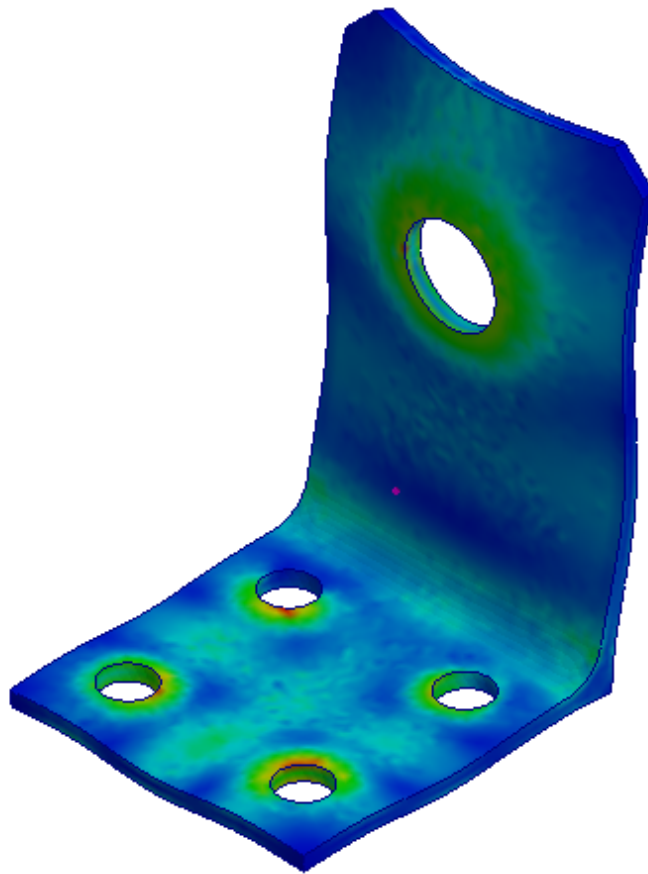




Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Rades

Département Génie Mécanique

Méthode des Éléments Finis



Travail élaboré par : Amen NAFTI

Encadré par le professeur : Mr. Adel HEDHLI

But du Projet :

- Introduire le principe de la méthode des éléments finis aux étudiants de la génie mécanique.
- Apprendre les différentes étapes de l'analyse des éléments finis.
- Introduire les simulations pour visualiser les sollicitations au niveau des pièces mécaniques non assimilées à une poutre.
- Afficher les résultats de la simulation par répartition des contraintes, déformation et déplacement au niveau de la pièce.

Outils & Prérequis :

- Le principe de la mécanique des milieux continus.
- Les sollicitations composées dans les pièces mécaniques.
- La capacité de reproduire une pièce sur logiciel.
- La modélisation des efforts et des moments au niveau d'un modèle tridimensionnel.
- Un logiciel de simulation (SolidWorks Simulation Professional, Simulia ABAQUS ou ANSYS)

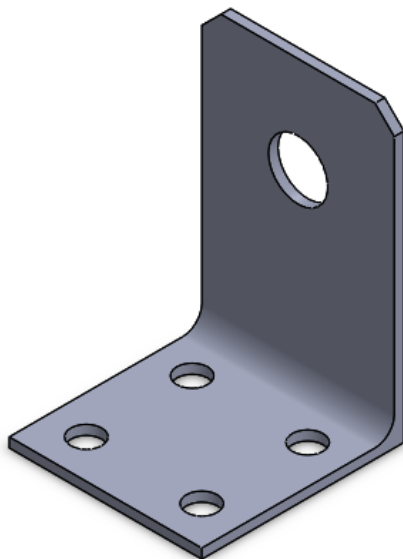


Fig. 1: Exemple de pièce en 3D

Étapes du Projet :

On a choisi de faire notre étude sur une pièce mécanique assimilée à une chape. Cette chape est de forme tridimensionnelle, ayant une liaison pivot au niveau du trou et fixée par 4 vis localisées dans sa base (voir dessin de définition). On crée une pièce similaire dans SolidWorks.

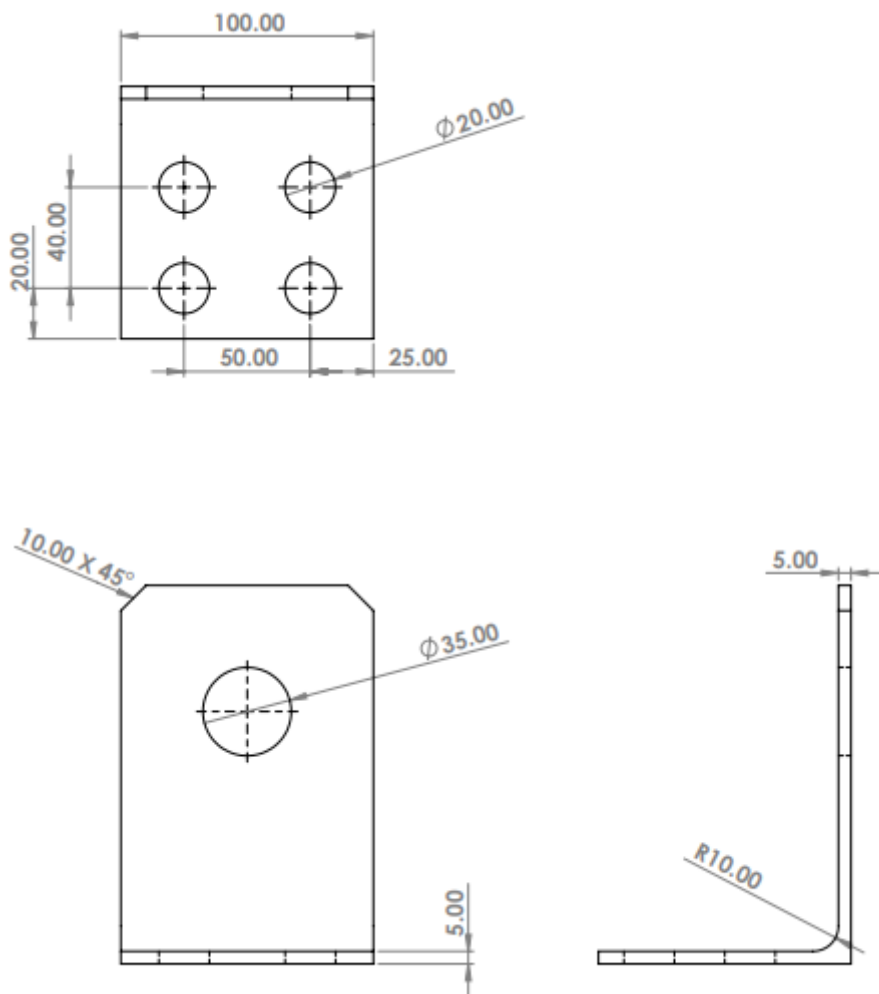


Fig. 2: dessin de définition de la pièce modélisée

L'étudiant peut créer sa propre chape avec d'autres dimensions. Le but de la simulation est de visualiser les résultats de l'étude statique.

Après l'activation de l'extension SolidWorks Simulation, on choisit le matériau convenable (acier, aluminium, alliages d'aluminium ou de cuivre, etc.). L'étude peut être reproduite avec des différents matériaux dans le but de la comparaison.

On choisit les types de liaisons convenables dans chaque géométrie de la pièce. Dans le trou supérieur, on réalise une fixation de type pivot (hinge). Dans les 4 trous de passage pour les vis, des liaisons encastrement (fixed).

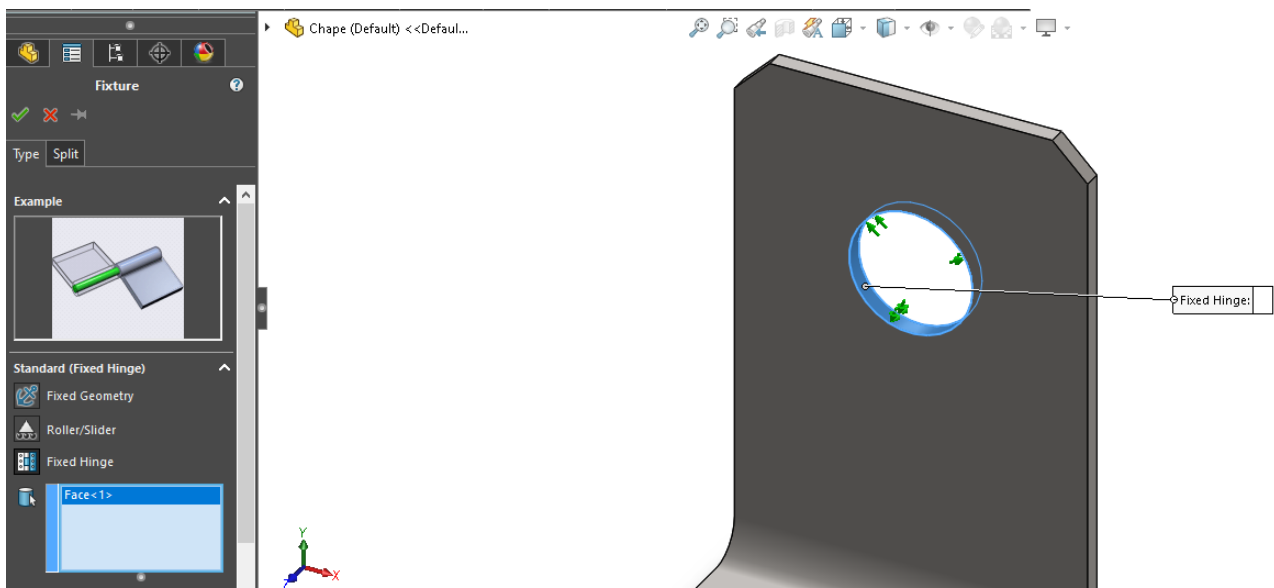


Fig. 3: fixation en pivot

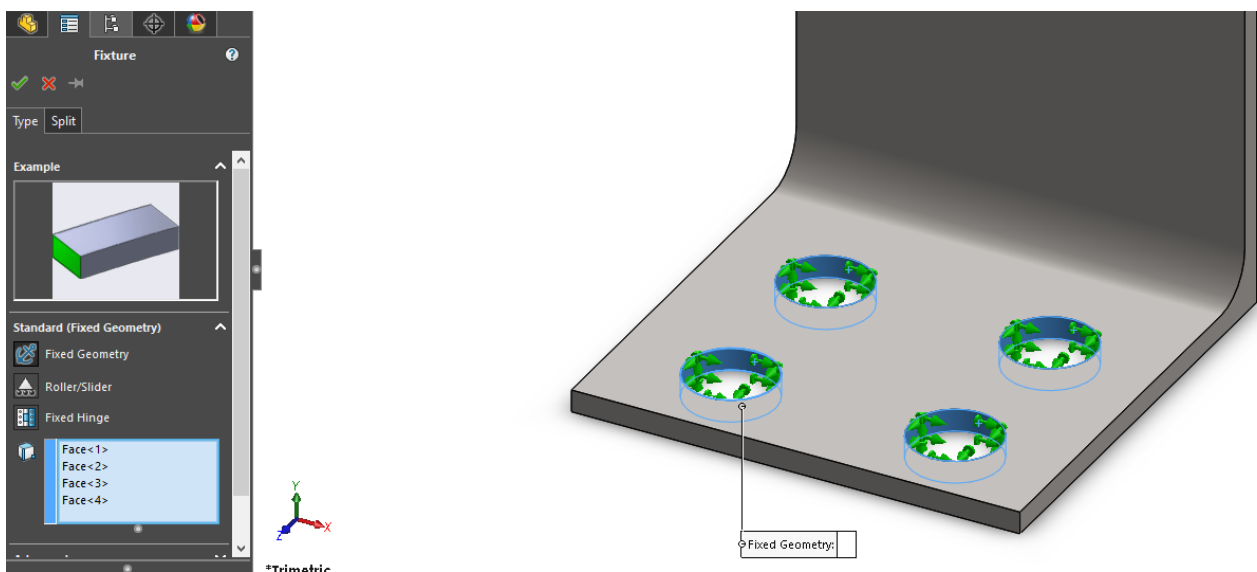


Fig. 4: fixation en encastrement

On applique une force normale à la face contenant le trou de pivot, de norme 200 N. Dans la face en contact avec les têtes des vis, on applique une force normale de norme 500 N. Les forces sont concentrées et non réparties.

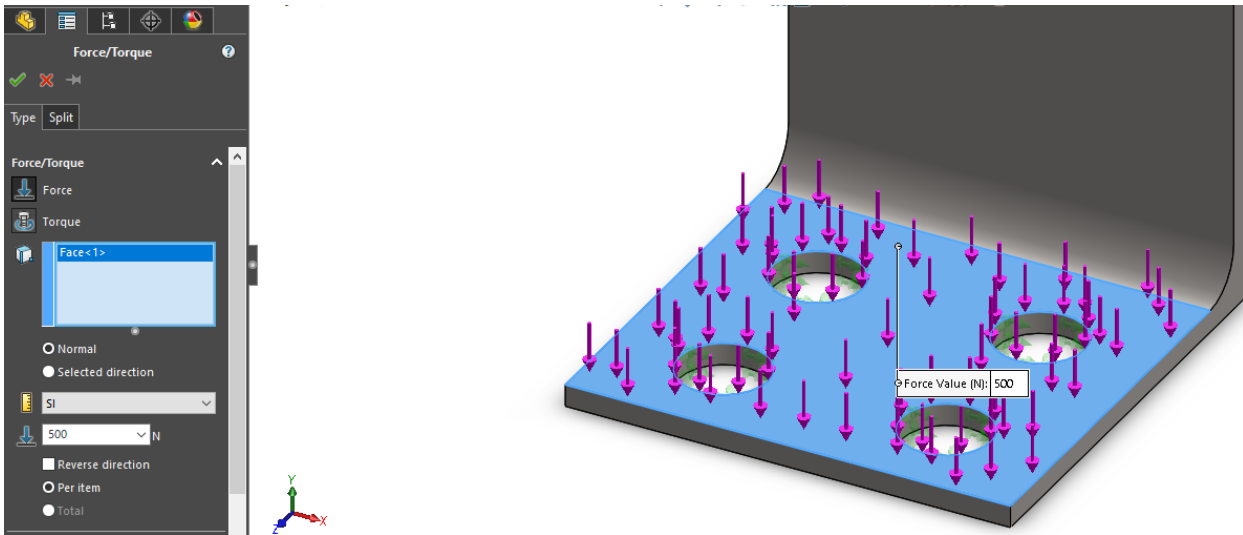


Fig. 5: Charge concentrée sur la face en contact avec les têtes des vis.

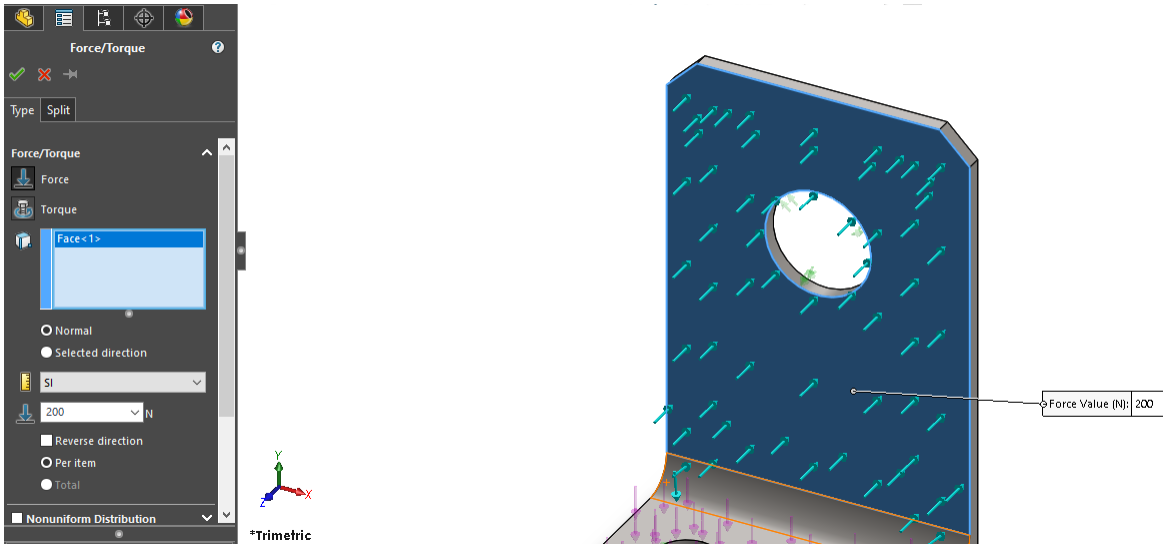


Fig. 6: Charge concentrée sur la face contenant le trou en pivot.

Le Choix des Matériaux:

Cette étape consiste à choisir le matériau convenable pour la pièce après l'analyse du fonctionnement. Il faut respecter les contraintes imposées du cahier des charges. Pour commencer, on prépare une liste des matériaux candidats et le choix est effectué par le concepteur suivant des abaques et des fiches techniques permettant d'aboutir le maximum des propriétés (mécaniques, acoustiques, thermiques, électromagnétiques, etc.) recherchées.

Ce choix dépend aussi des procédés d'obtention de la pièce (moulage, soufflage, injection, usinage, pliage, emboutissage). L'usinabilité caractérise certains matériaux et pas d'autres. Les fontes, les aciers, les alliages d'aluminium et quelques types de polymères sont utilisés dans le moulage.

Le matériau doit jouer son rôle dans le système technique en assurant la transmission des efforts tout en résistant les charges. Les coûts d'obtention du brut, de mise en forme, de traitement et de rectification interviennent dans le processus d'optimisation du choix du matériau. Lorsqu'on pense à un matériau, il faut s'assurer aussi de ses effets sur l'environnement et la santé.

Chargements & Conditions aux Limites :

Un chargement mécanique est une force physique appliquée à un objet ou à une structure, ce qui provoque des contraintes ou des déformations sur celui-ci. Les charges mécaniques peuvent inclure des forces de traction, de compression, de cisaillement, de flexion, de torsion, de vibration, etc.

Les conditions aux limites désignent les liaisons au niveau des extrémités d'un objet ou une poutre. Elles varient entre l'encastrement, l'appui simple et l'extrémité libre. Pour effectuer une analyse, il faut assurer l'équilibre statique du système.

Le Maillage :

Le maillage est une modélisation géométrique dite discrétisation spatiale d'un milieu continu par un ensemble d'éléments finis, proportionnés et bien définis afin de

simplifier le système étudié. Le maillage est caractérisé par des points de l'espace dits sommets de maillage.

Pour notre système, les mailles prennent des formes bien déterminées comme des triangles, des tétraèdres, des hexaèdres. Le maillage se fait automatiquement dans notre étude. On ne s'intéresse qu'au principe de découpage et de simplification de la pièce. Dans le logiciel utilisé, on peut modifier les caractéristiques des mailles comme la taille de chaque maille, ce qui change la précision des résultats de l'étude.

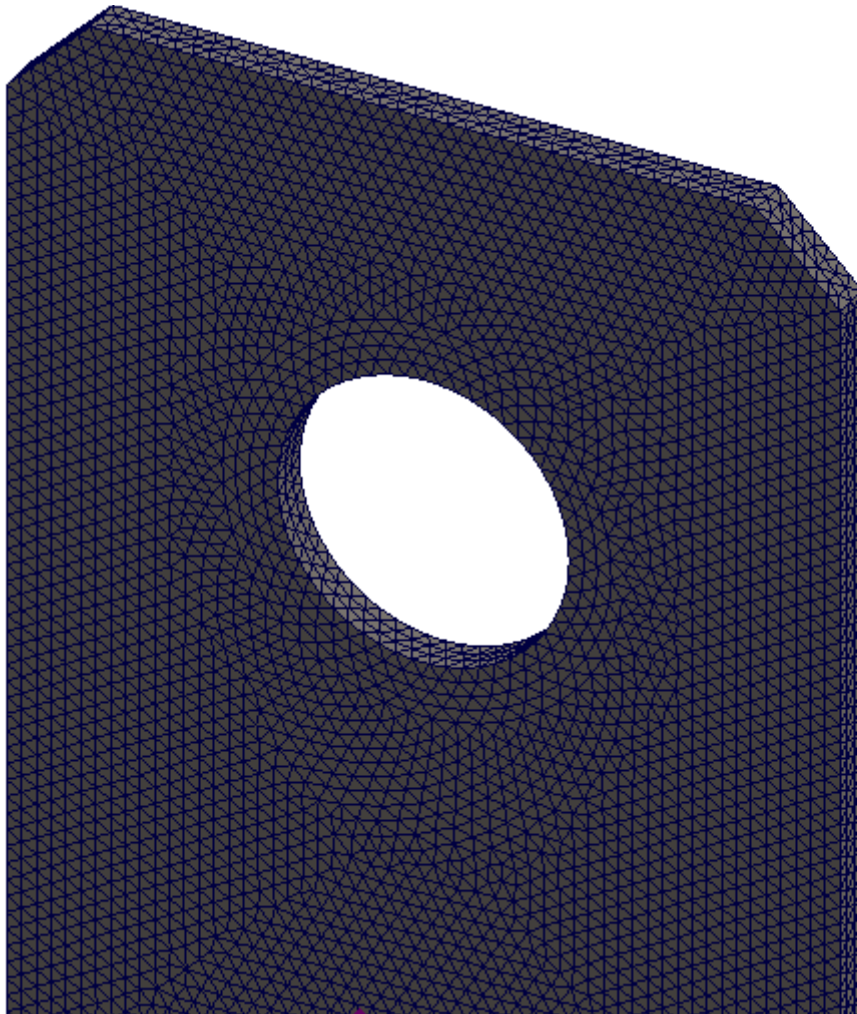


Fig. 7: Agrandi de la zone supérieure maillée.

On effectue le maillage de la pièce sur le logiciel. La pièce maillée est affichée de cette forme :

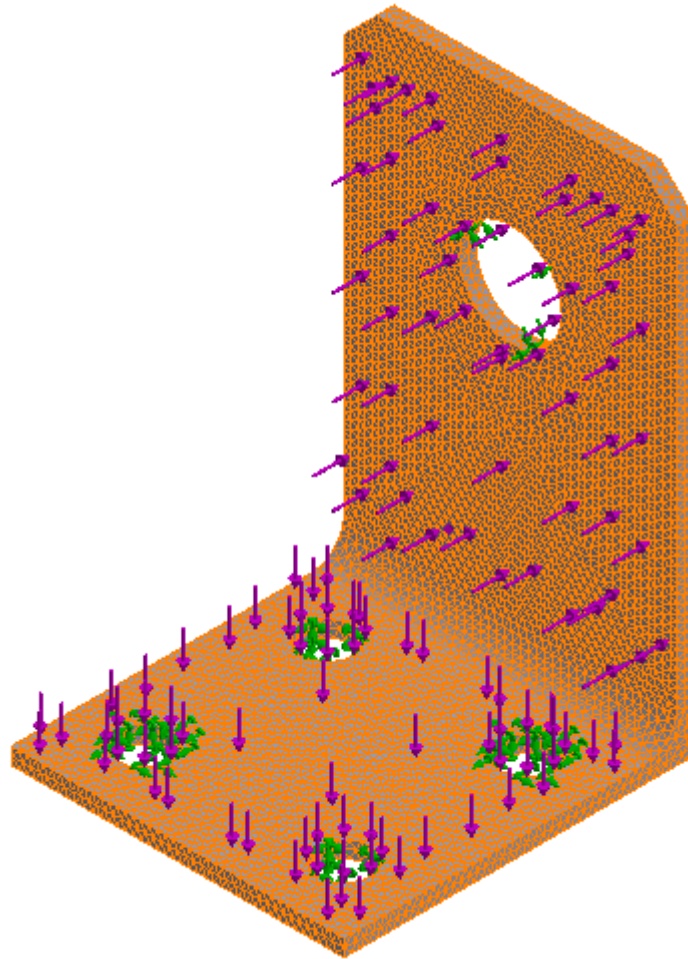


Fig. 8: Pièce Maillée

Les arêtes en oranger sont les limites de chaque maille, voire les arêtes reliant les nœuds des mailles.

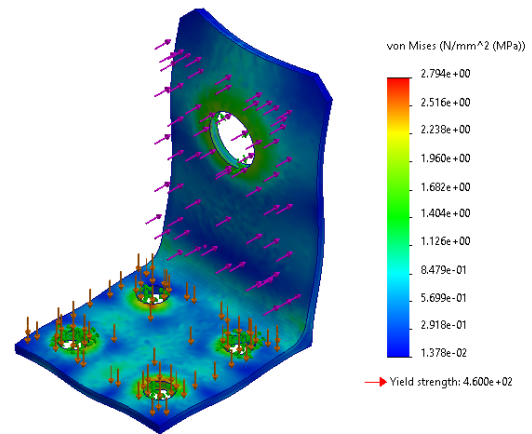
Le Calcul :

Cette étape est la plus importante dans la procédure de l'analyse. On lance l'étude statique et on attend les résultats. La durée d'attente varie selon la complexité de la pièce, les types d'efforts exercés, la définition des mailles et la mémoire de l'ordinateur.

On distingue 3 résultats proposés et calculés :

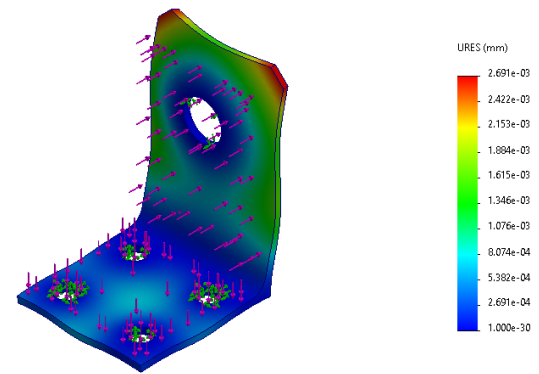
1- Répartition des contraintes

On utilise la contrainte de Von Mises. Les couleurs indiquent la variation de la valeur de la contrainte, où le rouge indique la contrainte la plus élevée, le bleu celle la plus faible et la flèche rouge la limite élastique choisie selon le matériau.



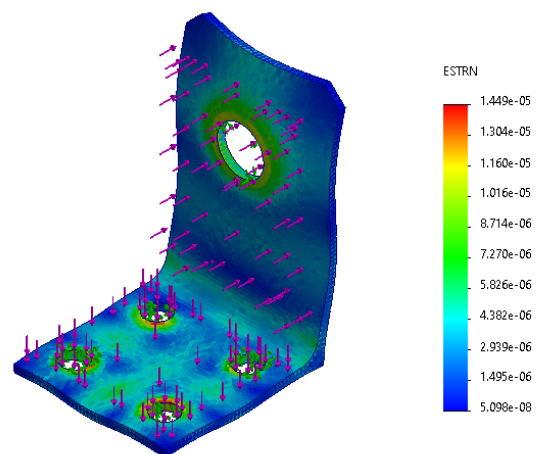
2- Le déplacement des différents points de la pièce

Tout point appartenant à la pièce subit un petit déplacement relatif aux efforts extérieurs appliqués. Ce déplacement peut être uni-, bi- ou tridimensionnel. « URES » signifie le déplacement résultant sur les trois axes.



3- La déformation

La déformation de la pièce est due aux déplacements des points sous les efforts. La géométrie de la pièce change.



La contrainte de Von Mises :

Le simulateur donne la localisation de concentration de contraintes dans la pièce. Ce phénomène est notable dans les trous. La contrainte maximale est marquée en rouge et peut être lue dans l'échelle colorée. Ci-dessous est un agrandissement du résultat :

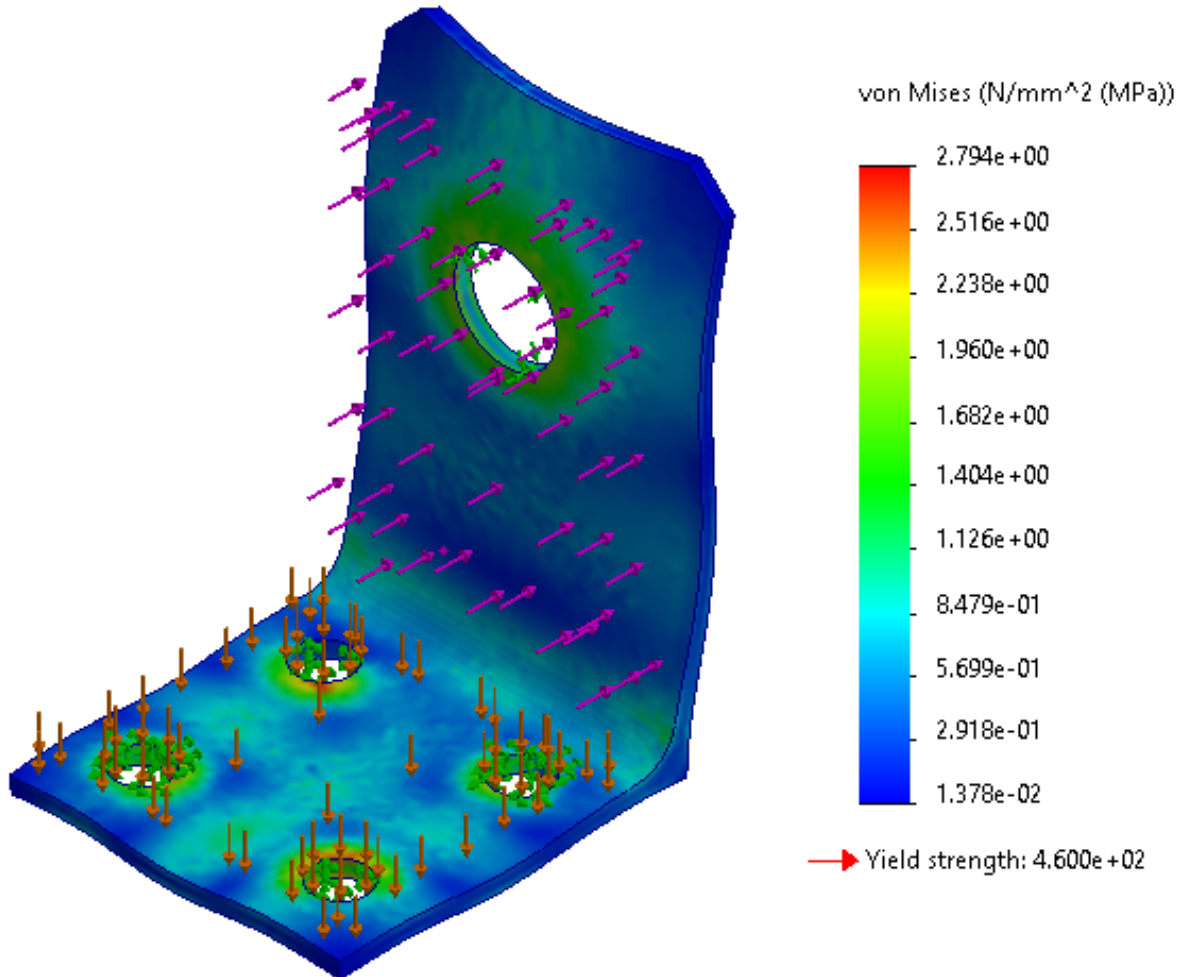


Fig. 9: Contrainte de Von Mises affichée sur la pièce

Pour la nuance d'acier appliquée pour cette étude statique, la limite élastique de ce matériau est $R_e = 460$ MPa. La contrainte maximale appliquée est 2.794 MPa, qui est faible par rapport à la limite élastique du matériau.

$\sigma_{VM} < R_e$; on peut ajouter le coefficient de sécurité s selon le domaine d'application de la pièce et calculer $R_{pe} = \frac{R_e}{s}$

Si $\sigma_{VM} < R_e$ alors la pièce résiste aux efforts appliqués.

Le déplacement :

Le déplacement désigne le changement de coordonnées d'un point d'un système matériel dans le même repère. Le simulateur calcule le déplacement au niveau des mailles. Le résultat affiché est l'amplitude résultante sur les trois axes de travail.

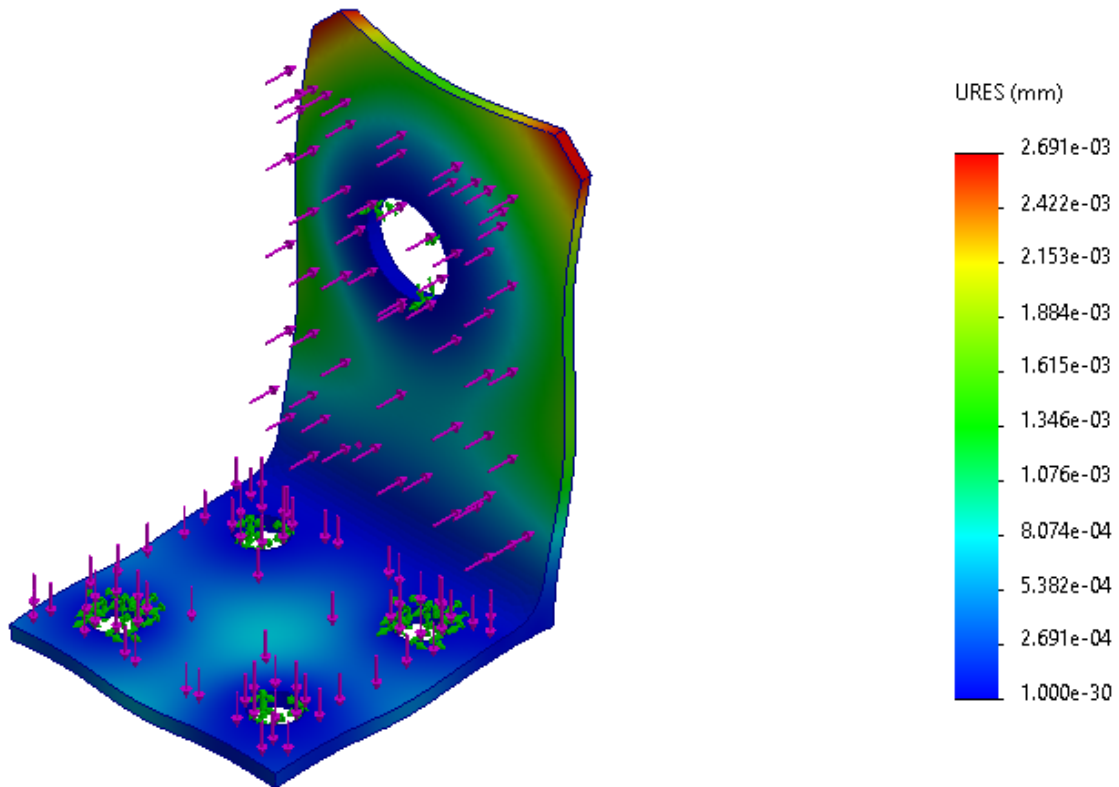


Fig. 10: Déplacement dans la pièce

Au contraire de la contrainte, le déplacement est nul au niveau des trous, puisque le système est fixé par 4 vis et effectue une liaison pivot dans le 5ème trou. Le déplacement maximal s'effectue au niveau des chanfreins et est de valeur :

$$U_{\text{res}} = 2.62 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Remarque : pour l'étude statique, on travaille dans le domaine élastique avec l'hypothèse des petites perturbations (h.p.p).

La déformation :

La déformation désigne la modification géométrique que subit un système après application d'efforts.

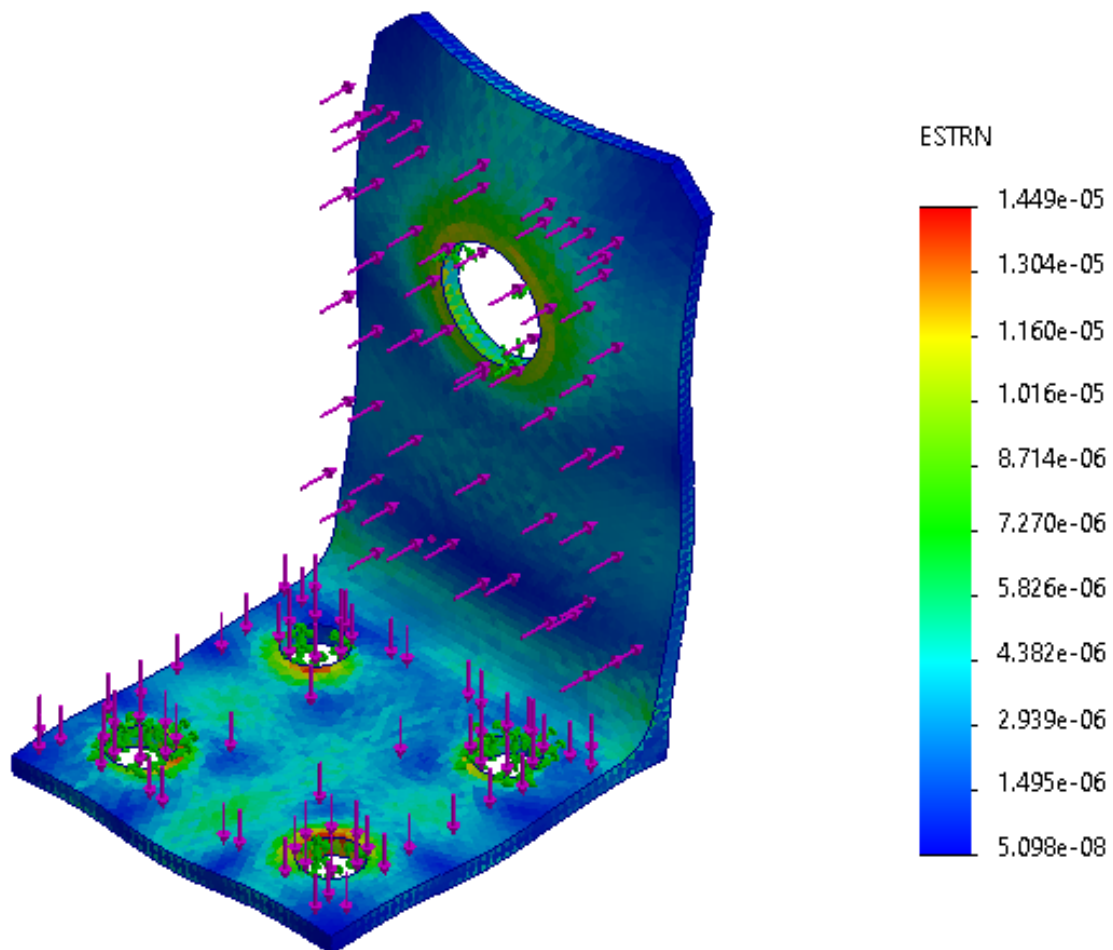


Fig. 11: Déformation de la pièce.

La déformation est sans unité et d'ordre faible. Pour notre pièce, le résultat de cette analyse donne une coloration similaire à celle de la contrainte de Von Mises. Celle-ci est due à la loi de Hooke, où : $\sigma = E \cdot \varepsilon$

La déformation maximale est : $\varepsilon_{\max} = 1.45 \cdot 10^{-5}$ et elle est localisée au niveau des trous.

Interprétation des Résultats :

L'analyse des résultats obtenus requiert une bonne connaissance de la méthode des éléments finis. Les logiciels utilisés sont capables de générer le rapport et de proposer des solutions pour corriger les fautes. Par exemple, si le modèle, après application de forces et des moments, n'est pas en équilibre statique, alors l'étude ne s'effectue pas. Dans la majorité des cas, le simulateur génère un avertissement ou une erreur.

L'interprétation des résultats reste toujours la tâche de l'ingénieur ou le technicien. Cette étape est importante pour la validation des résultats et pour le passage du modèle numérique au modèle réel.

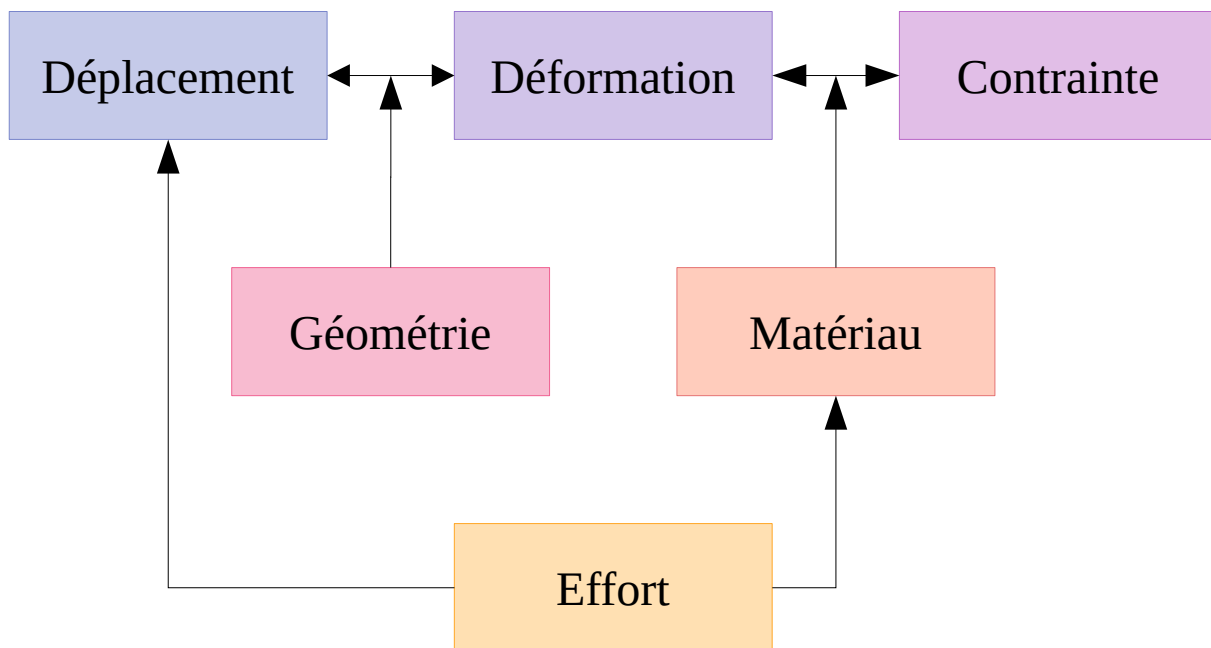
Chaque mauvaise estimation dans le niveau de la simulation peut engendrer des conséquences néfastes lors de la production et le fonctionnement du système. On rappelle que le but de cette simulation est de minimiser le coût de production par élimination des défauts de conception avant le passage à la fabrication réelle. Il est toujours mieux de prévenir les mauvais fonctionnements que les réparer dans une phase avancée du cycle de vie de la pièce et du cycle de production.

Cette méthode permet de choisir le bon dimensionnement et le bon matériau nécessaire pour le fonctionnement désiré.

Schéma Récapitulatif :

Schéma de relations :

On peut tracer un schéma pour traduire les formules et les théories reliant les termes : déplacement, déformation, contrainte et effort. Par exemple, la loi de Hooke traduit la relation entre la contrainte, la déformation et le matériau car $\sigma = \epsilon E$.



Les étapes de l'analyse par la méthode des éléments finis :

