

# FINAL de l'UV TN90

Durée : 2h.

Aucun document autorisé.

Calculatrice autorisée.

- Les deux exercices **sont indépendants** et seront rédigés sur deux copies séparées (Barème prévisionnel : 10 pts par exercice).
- Il sera tenu compte du soin et de la rédaction dans l'évaluation des copies.
- Seules les explications claires et précises seront prises en compte lors de la correction.
- **Attention ... quantité ne rime pas avec qualité ! (5 lignes maximum par réponses seront largement suffisantes !).**

## EXERCICE 1

Une plaque en acier d'épaisseur  $2h$  percée d'un trou cylindrique à section circulaire de rayon  $a$  et de largeur  $L$  est soumise à ses extrémités à un état de traction simple. La géométrie et les données de ce problème sont illustrées sur la figure 1. On souhaite réaliser une analyse **éléments finis de ce problème**.

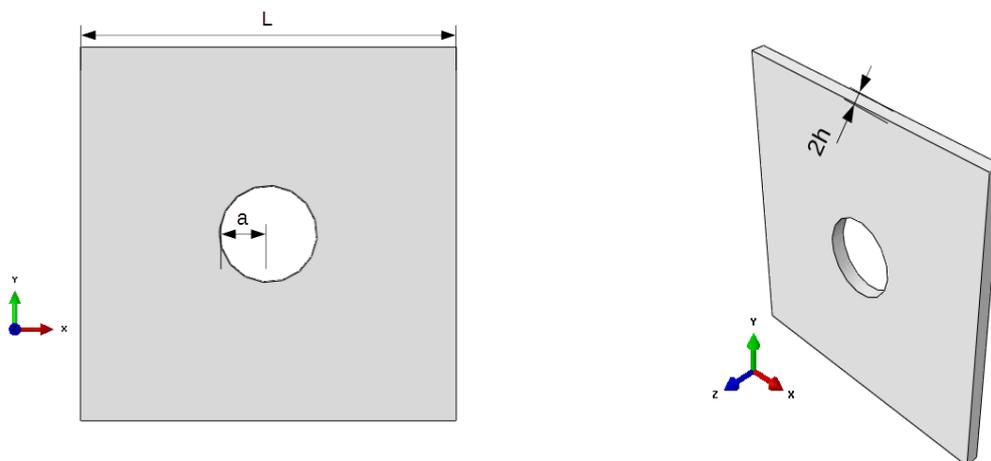


Figure 1 : Géométrie des plaques testées

### Partie A

Dans cette partie, le comportement est supposé élastique, linéaire et isotrope. Les propriétés élastiques de l'acier considéré sont  $E = 210\,000\text{ GPa}$  et  $\nu = 0.28$ . La limite élastique est  $R_e = 620\text{ MPa}$ . Un déplacement de  $1.5\text{ mm}$  est imposé à une extrémité de l'éprouvette (suffisamment lentement pour éviter les effets dynamiques) et l'autre côté est bloqué.

#### 1. Hypothèses de modélisation.

- 1.1. Dans quel **système d'unités** travaillez-vous ? (Longueur, Force, Contraintes/Modules)
- 1.2. Parmi les possibilités suivantes - **modèle 3D, poutre, contraintes planes, déformations planes et plaque/coques** ; quelles sont les modélisations envisageables pour ce problème ? Justifier votre choix et préciser toutes les hypothèses associées.
- 1.3. Quelles **symétries** sont utilisables pour réduire le problème ? Justifier.
- 1.4. Préciser ce qu'impliquent ces symétries sur votre modèle.
- 1.5. Quel serait votre modèle final ? Pourquoi ? (Faire un dessin explicatif).

#### 2. Type d'analyse. On souhaite réaliser une analyse **mécanique statique linéaire**.

- 2.1. Justifier ce choix et donner toutes les hypothèses relatives à ce type d'analyse.

- 2.2. Quelles sont les propriétés matériaux à définir pour une analyse mécanique statique linéaire ?
  - 2.3. Equations aux dérivées partielles (EDP).
    - 2.3.1. Quelles sont les inconnues d'un tel problème ?
    - 2.3.2. Donner les équations aux dérivées partielles décrivant ce problème.
    - 2.3.3. Donner les conditions aux limites.
  - 2.4. Donner la formulation discrète de ce problème que résout finalement la MEF.
  - 2.5. Donner et expliquer les grandes étapes pour passer de l'EDP à la formulation discrète.
3. L'objectif premier de cette analyse éléments finis est de déterminer la contrainte de **Von Mises maximale**.
    - 3.1. Quel type d'éléments utiliseriez-vous pour procéder au maillage de cette structure dans le contexte proposé ? Pourquoi ?
    - 3.2. Qu'est-ce que la contrainte de Von Mises ?
    - 3.3. Selon vous, où la valeur de cette contrainte est-elle maximale ? Pourquoi ?

### Partie B

On considère maintenant une sollicitation de traction pour laquelle la limite élastique du matériau est franchie. On impose un déplacement de 3 mm à l'extrémité non bloquée de l'éprouvette (suffisamment lentement pour être en statique). On se place donc dans une situation qui nécessite la prise en compte du **comportement élasto-plastique**.

4. Que signifie « comportement elasto-plastique » ?
5. Quel type d'analyse devez-vous réaliser maintenant ? Justifier.
6. Quels sont les différences majeures entre cette analyse et l'analyse effectuée dans la partie A ?
7. Décrire rapidement les difficultés générées par ce type de problème et sa résolution.

## EXERCICE 2

Nous souhaitons dimensionner et améliorer un crocher de levage en acier (Figure 2).

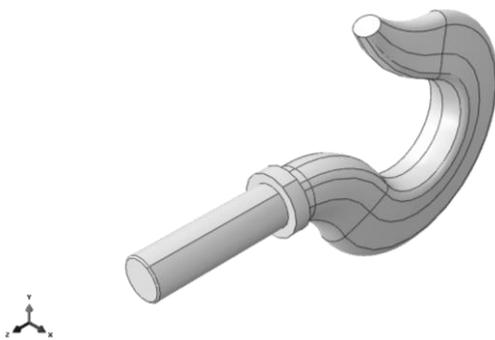


Figure 2 : géométrie étudiée

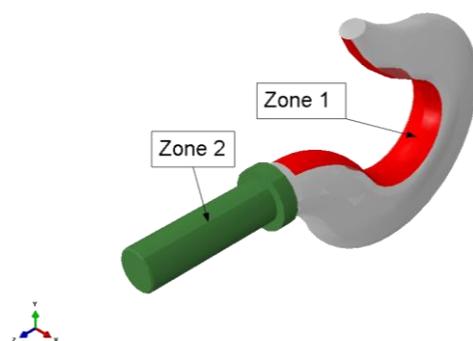


Figure 3 : Conditions aux limites

Pour modéliser des conditions d'utilisations extrêmes, nous optons pour les conditions aux limites décrites sur la figure 3. Une pression  $P=20$  MPa est appliquée sur la zone 1 et la zone 2 est encastree.

## Géométrie

La géométrie en mm (Figure 2) de la pièce a été créée sous CATIA. Nous importons ce fichier CATIA dans Abaqus et au moment de l'importation nous avons le message spécifié sur la figure 3.

1. Quel type de problèmes rencontrez-vous ici ?
2. Pouvez-vous anticiper, imaginer des difficultés suite à ce message ? Expliquer.
3. Que faut-il envisager pour tenter de réduire/éviter les difficultés à venir ? Expliquer.

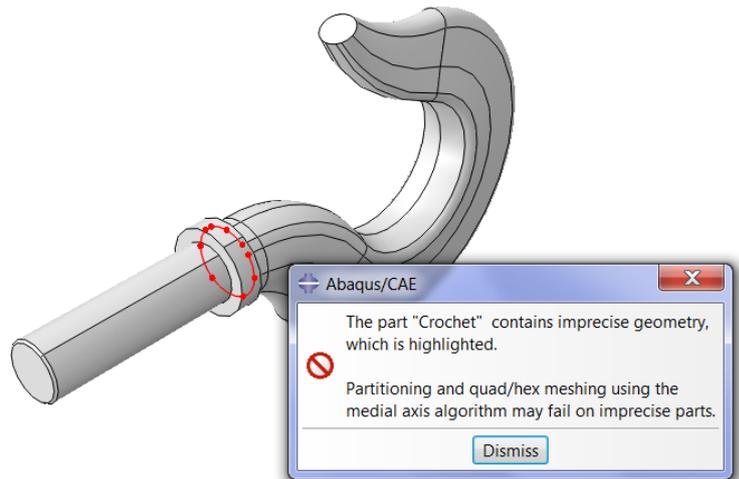


Figure 4 : Erreur

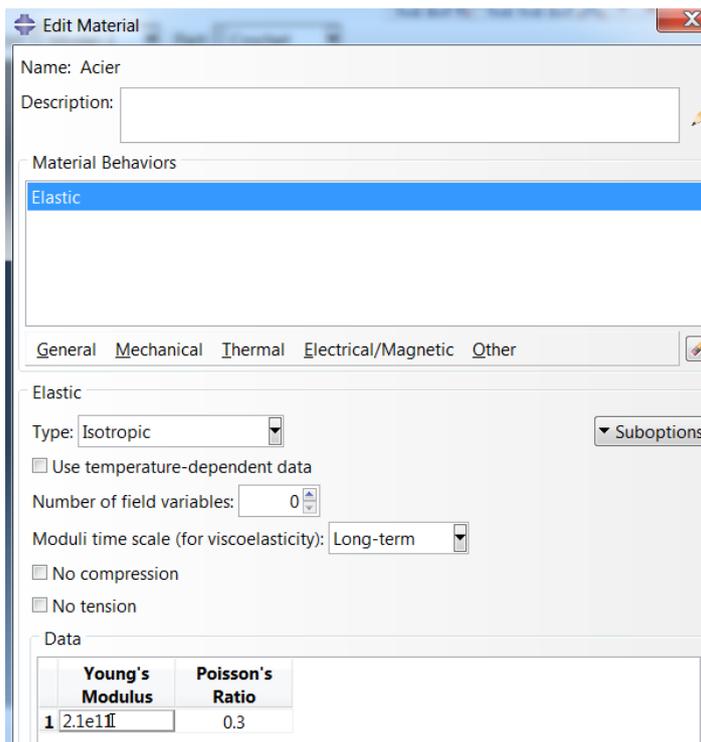


Figure 5 : Loi de comportement

## Type de Problème / Résolution

Nous arrivons au type de simulation à réaliser (module STEP, figure 5). L'analyse que nous avons choisie de réaliser est présentée sur la figure 6.

8. Expliquer et détailler les hypothèses d'une telle analyse.

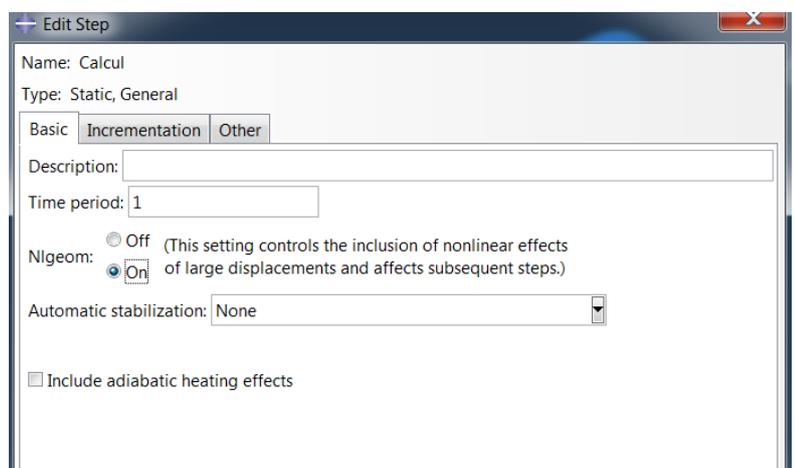


Figure 6 : Choix du type d'analyse à réaliser

## Hypothèses de comportements physiques

Le crochet est en acier. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- Module de Young  $E = 210\,000$  MPa
- Coefficient de Poisson = 0.3.

Nous définissons la loi de comportement comme indiqué sur la figure 5.

4. Qu'est-ce qu'une loi de comportement en mécanique ?
5. Qu'est-ce qu'un matériau isotrope ?
6. Quelle est la loi que nous avons définie figure 4 ? Expliquer.
7. Est-elle définie correctement ? Pourquoi ? Expliquer.

## Maillage

Une étape importante dans la création d'un modèle éléments finis est la création d'un bon maillage. Nous tentons de mailler sans précautions particulières (« clic automatique » sur le mailleur d'Abaqus) et là il y a un souci indiqué sur la figure 7.

9. Que signifie ceci ?
10. Est-ce que ce problème était prévisible ? Pourquoi ?
11. Quelles sont les solutions à employer pour y remédier ? (Donner deux options).
12. La création d'un maillage se fait en trois étapes fondamentales. Donner et expliquer ces trois phases.

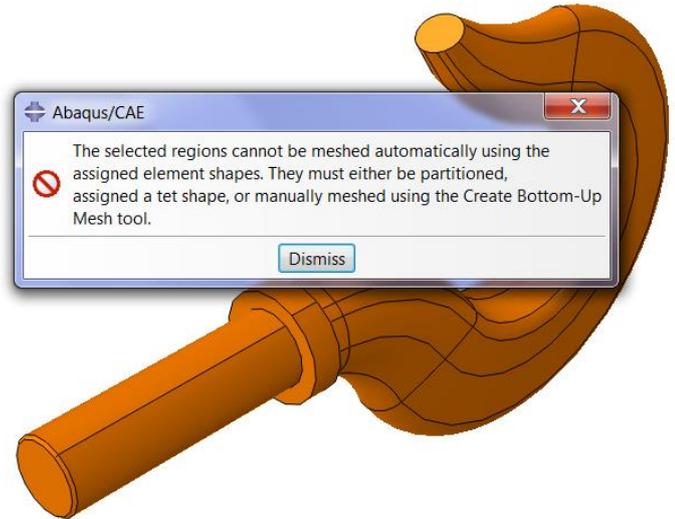


Figure 7 : Erreur de maillage

Nous utilisons une deux options évoquées question 11 pour réaliser les maillages 1 et 2 présentés sur la figure 8.

13. Donner la forme des éléments qui ont été utilisés pour ces maillages.
14. Quel est le nombre d'éléments et de nœuds de ces maillages.
15. Expliquer la différence majeure entre ces deux maillages.

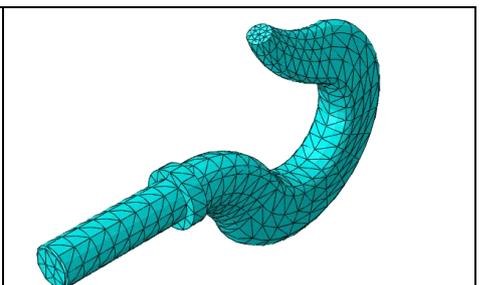
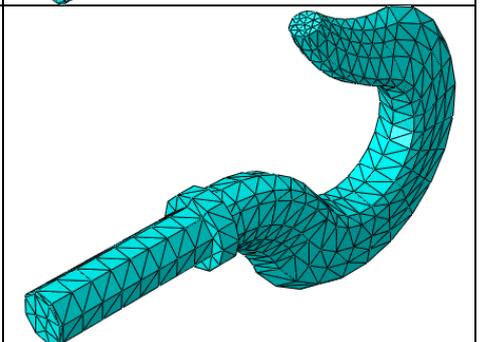
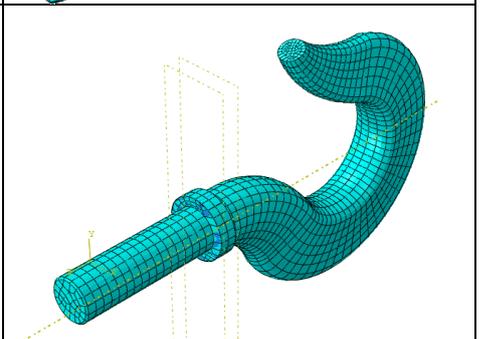
Maillage 1	Total number of nodes: 4034 Total number of elements: 2274 2274 quadratic tetrahedral elements of type C3D10	
Maillage2	Total number of nodes: 650 Total number of elements: 2274 2274 linear tetrahedral elements of type C3D4	
Maillage 3	Total number of nodes: 17990 Total number of elements: 3868 3592 quadratic hexahedral elements of type C3D20R 276 quadratic wedge elements of type C3D15	

Figure 8 : Maillages

Nous utilisons alors une deuxième stratégie de maillage pour obtenir le maillage 3.

16. Approximation.

- Quel est la nature de l'approximation retenue ici ? Détailler.
- Quels sont ses avantages ? Inconvénients ? Expliquer.

17. Expliquer avec détails les différences entre le maillage 2 et le maillage 3.

18. Selon vous, lequel de ces 3 maillages apportera les meilleurs résultats ? Pourquoi ?

Nous vérifions maintenant la qualité du maillage pour s'assurer qu'aucun élément n'est invalide ou distordu.

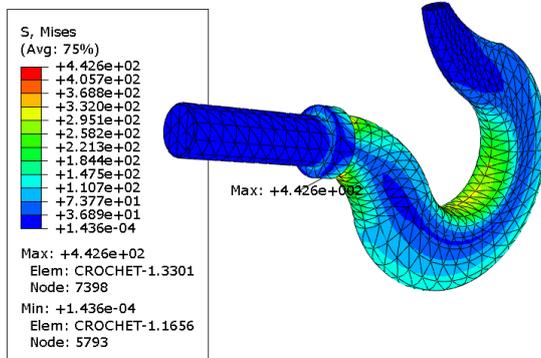
19. Qu'est-ce qu'un élément distordu ?

20. Quelles peuvent être les conséquences de la présence de ce type d'éléments dans votre maillage ?

21. Que pouvez-vous faire pour éviter la présence de ce type d'éléments ? Expliquer les solutions possibles.

## RESULTATS ET ANALYSES

22. L'acier utilisé a une limite élastique  $\sigma_e$  d'environ 430 MPa. Nous observons la contrainte de Von Mises, sur la figure 9.



a. Quelle est l'unité utilisée ici ?

b. Quelles conclusions pouvez-vous faire concernant le cas de charge ?

Figure 9 : Contrainte de Von Mises

## DISCUSSION

On souhaiterait encore améliorer les performances de cette pièce. Pour ceci, on souhaiterait diminuer la masse du crochet tout en s'assurant que la contrainte de Von Mises reste inférieure à la limite élastique. On décide donc de mettre en place un processus d'optimisation.

23. Expliquer à l'aide (d'un schéma) la mise en œuvre de l'optimisation de structures.

24. Trois types d'optimisation sont envisageables en calcul des structures. Pour chacun des types, donner :

- Les difficultés liées à ce type d'optimisation.
- La fonction « objectif ».
- Les variables d'optimisation envisageables.
- Les contraintes d'optimisation.