

- Durée : 2h. Aucun document autorisé. Calculatrice autorisée.
- 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.

Nom	Prénom	Signature

Etude d'une bielle

L'objectif de ce final est de tester vos connaissances et compétences nécessaires à la création d'un modèle éléments finis. Nous vous proposons de nous expliquer la démarche sur un cas d'étude réel.

PARTIE 1. DESCRIPTION DU PROBLEME

Dans un moteur à combustion interne, la bielle permet la transformation du mouvement alternatif du piston en un mouvement de rotation du vilebrequin. La bielle est donc soumise à des sollicitations sévères qui se traduisent par des chargements cycliques importants, notamment des sollicitations axiales de traction, de compression et des sollicitations de flexion due à la force centrifuge, et par conséquent elle doit avoir une grande résistance à la rupture tout en assurant une bonne fiabilité. La bielle étudiée ici est en 42CrMo4 (Acier faiblement allié). Toutes les données sont spécifiées sur la figure 1.



Propriétés mécanique du 42CrMo4	
Coefficient de Poisson	0.3
Module d'Young	210 GPa
Limite Elastique	700 MPa

Figure 1 : Géométrie et matériaux de la bielle étudiée

Dans cette étude, nous nous intéressons aux chargement axiaux de la bielle qui définissent les phases d'admission (Traction) et de combustion (compression). Pour la phase d'admission, on suppose que la tête de bielle est soumise à un chargement uniforme avec une intensité de 35.7 MPa et le pied de bielle est encastéré (Figure 2 a). Pour la phase de combustion, le pied de bielle est soumis à un chargement avec une intensité de 65.9 MPa et la tête de bielle est encastérée (Figure 2 b).

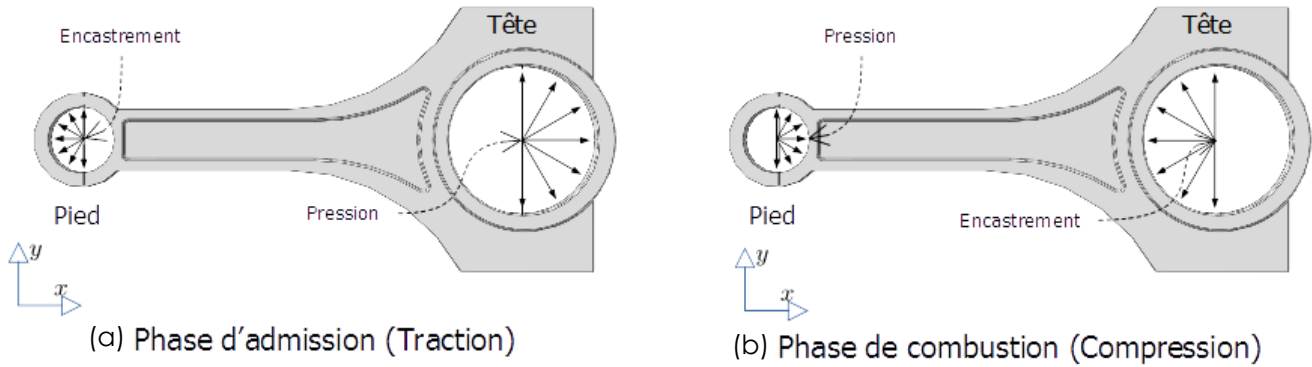


Figure 2 : Chargement de la bielle en phase de fonctionnement

L'objectif de notre d'étude est d'améliorer le dimensionnement de cette bielle et de l'optimiser. Pour ce faire, nous allons réaliser une analyse en appliquant la méthode des éléments finis avec le code industriel Abaqus.

PARTIE 2. COMPREHENSION THEORIQUE

1. Des symétries sont-elles envisageables ? Justifier. Si oui, préciser ce qu'elles impliqueraient sur votre modèle. (Un dessin explicatif peut suffire !).

2. On souhaite réaliser dans un premier temps une **analyse mécanique statique linéaire**.

2.1. Nous souhaitons dans ce cas faire un bilan des données utilisateurs et clarifier les inconnues d'un tel problème. Pour ce faire, compléter le schéma ci-dessous (« ... » à compléter).

Données utilisateur d'une Analyse mécanique statique linéaire

1.

2.

3.

Inconnues d'une Analyse mécanique statique linéaire

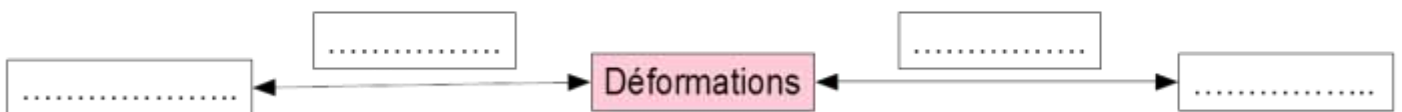


Figure 3 : analyse mécanique, statique linéaire : bilan des données et des inconnues

2.2. Justifier le choix d'effectuer une analyse mécanique statique linéaire et donner les hypothèses relatives à ce type d'analyse.

2.3. La méthode des éléments finis nécessite trois étapes fondamentales pour passer de l'équation aux dérivées partielles à une formulation algébrique.

Pouvez-vous expliquer et détailler ces trois grandes étapes dans le cas d'une analyse mécanique statique linéaire.

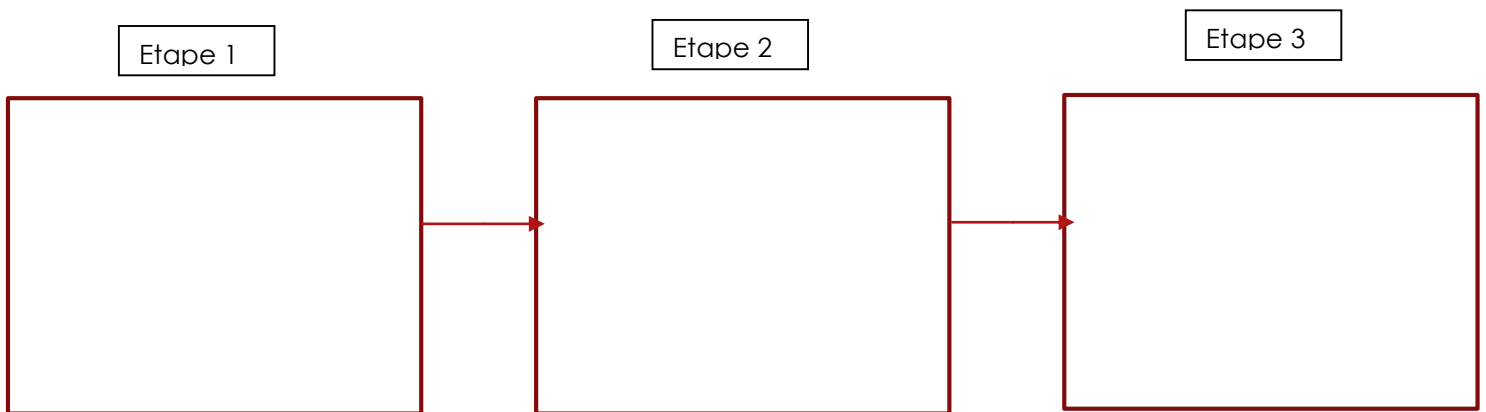


Figure 4 : Analyse mécanique statique linéaire : la méthode des éléments finis en trois étapes

3. L'objectif premier de cette analyse éléments finis est de vérifier le dimensionnement de la bielle. Pour ce faire, nous allons vérifier la valeur maximale de la contrainte de **Von Mises**.

3.1. Qu'est-ce que la contrainte de Von Mises ? Quel est son intérêt ?

3.2. Quel type d'éléments utiliseriez-vous pour procéder au maillage de cette structure dans le contexte proposé ? Pourquoi ?

3.3. Selon vous, où la valeur de cette contrainte est-elle maximale ? Pourquoi ?

On considère maintenant une sollicitation pour laquelle **la limite élastique du matériau risque d'être franchie**.

4. Qu'est-ce que la limite élastique ?

5. On se place donc maintenant dans une situation qui nécessite la prise en compte du **comportement élasto-plastique**. Que signifie « comportement elasto-plastique » ?

6. Quel type d'analyse devez-vous réaliser maintenant ? Justifier.

7. Quels sont les différences majeures entre cette analyse et l'analyse effectuée précédemment ?

8. Décrire rapidement les difficultés générées par ce type de problème et sa résolution.

PARTIE 3. MODELISATION VIA UN CODE INDUSTRIEL

Nous allons maintenant procéder à la création du modèle étudié dans la partie précédente. Pour ce faire, nous avons opté pour le logiciel élément finis ABAQUS. Comme évoqué dans la partie 1, nous souhaitons dans un premier temps réaliser une **analyse mécanique statique linéaire**.

9. Citer d'autres codes que vous auriez pu utiliser pour résoudre ce problème.

Etape 1 : création de la géométrie

La géométrie, exprimée en mm, de la pièce a été créée sous CATIA. Nous importons ce fichier CATIA dans Abaqus.

10. Quel type de problèmes pourriez-vous rencontrer ici ? Quelles solutions sont envisageables ?

11. Choix des unités. Dans quel système d'unités travaillez-vous ? Compléter le tableau suivant :

	Longueur	Contraintes	Module d'Young	Forces
Unités				

Etape 2 : hypothèses de comportements physiques

Nous définissons la loi de comportement comme indiqué sur la figure 5 (placée en annexe).

12. Quelle est la loi que nous avons définie figure 5 ? Expliquer.

13. Est-elle définie correctement ? Pourquoi ? Expliquer.

14. Le terme isotrope apparaît sur la figure. Qu'est-ce que cela signifie ?

Type de Problème / Résolution

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

15. Est-elle définie correctement ? 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 précaution particulière (« clic automatique » sur le mailleur d'Abaqus), et là nous avons un soucis (Figure 7 de l'annexe).

16. Que signifie ceci ?

17. Est-ce que ce problème était prévisible ? Expliquer.

18. Donner deux solutions standards pour résoudre ce problème.

- Solution 1 :

- Solution 2 :

19. La création d'un maillage se fait en trois étapes fondamentales. Donner et expliquer ces trois phases.

- Etape 1 :

- Etape 2 :

- Etape 3 :

20. Nous réalisons deux premiers maillages dont les caractéristiques sont données sur la figure 8 (Placée en annexe). Compléter le tableau suivant.

	Maillage 1	Maillage 2
Forme		
Nombre d'éléments		
Nombre de nœuds		

21. Expliquer avec détails les différences entre le maillage 1 et le maillage 2.

22. Quel type de maillage retiendriez-vous dans notre étude ? Pourquoi ?

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

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

- 24.** Quelles peuvent être les conséquences de la présence de ce type d'éléments dans votre maillage ?
- 25.** Que pouvez-vous faire pour éviter la présence de ce type d'éléments ? Expliquer les solutions possibles.

PARTIE 4. DISCUSSION

Etude de convergence

Nous souhaitons maintenant procéder à une étude de **convergence du maillage**.

- 26.** Qu'est-ce qu'une étude de convergence de maillage ? Quelle est l'intérêt de faire une telle étude ?

Nous étudions 5 maillages uniformes (similaires à ceux réalisés précédemment). Entre chaque maillage, la taille caractéristique des éléments diminuée de 0.5 mm. Nous réalisons deux versions de chaque maillage : une version avec des éléments à fonctions de forme linéaires, et une autre avec des fonctions de forme quadratique. Nous nous intéressons à la valeur maximale de la contrainte de Von Mises et les résultats sont présentés sur la figure 9 (placée en annexe).

- 27.** Quelles conclusions pouvez-vous faire suite à cette étude de convergence ?
- 28.** Quelles conclusions pouvez-vous faire suite à cette étude mécanique ? Quelles préconisations suggèreriez vous concernant la conception de cette bielle ?

Optimisation

On souhaiterait encore améliorer les performances de cette pièce. Pour ceci, on souhaiterait diminuer la masse de la bielle 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 topologique.

29. En quoi consiste l'optimisation topologique ?

30. Donner :

a. Les difficultés liées à ce type d'optimisation.

b. La fonction « objectif ».

c. Les variables d'optimisation.

d. Les contraintes d'optimisation.

PARTIE 5. ANNEXES – FIGURES

Figure 5 : loi de comportement

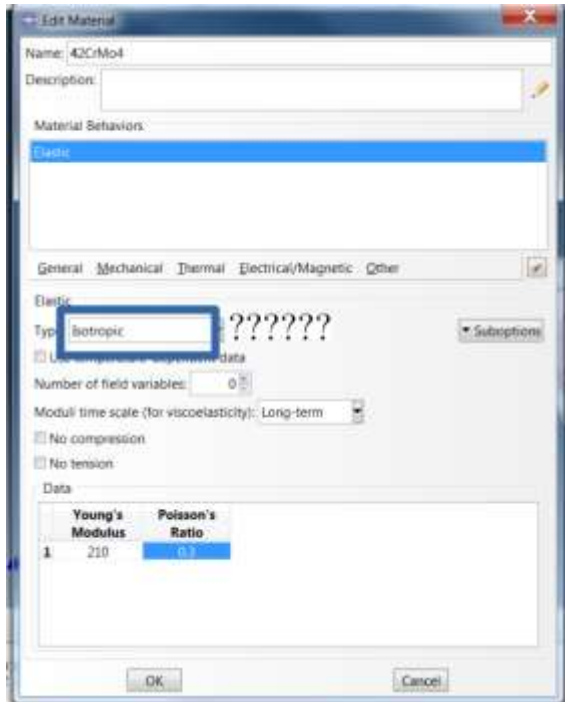


Figure 6 : choix du type d'analyse

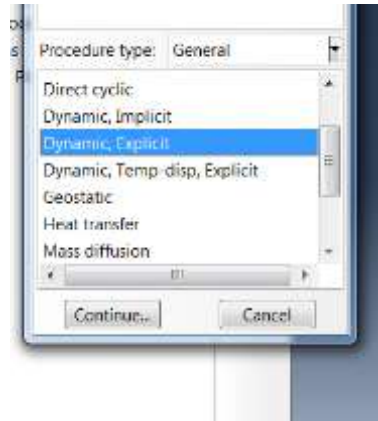
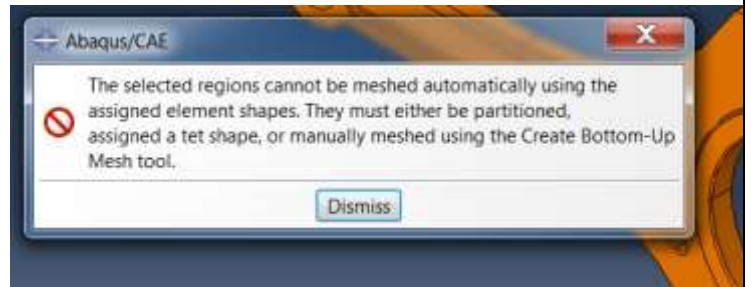


Figure 7 : maillage automatique



Maillage 1

Total number of nodes: 32117
 Total number of elements: 18930
 18930 quadratic tetrahedral elements of type C3D10



Maillage 2

Total number of nodes: 4921
 Total number of elements: 18930
 18930 linear tetrahedral elements of type C3D4



Figure 8 : Maillages

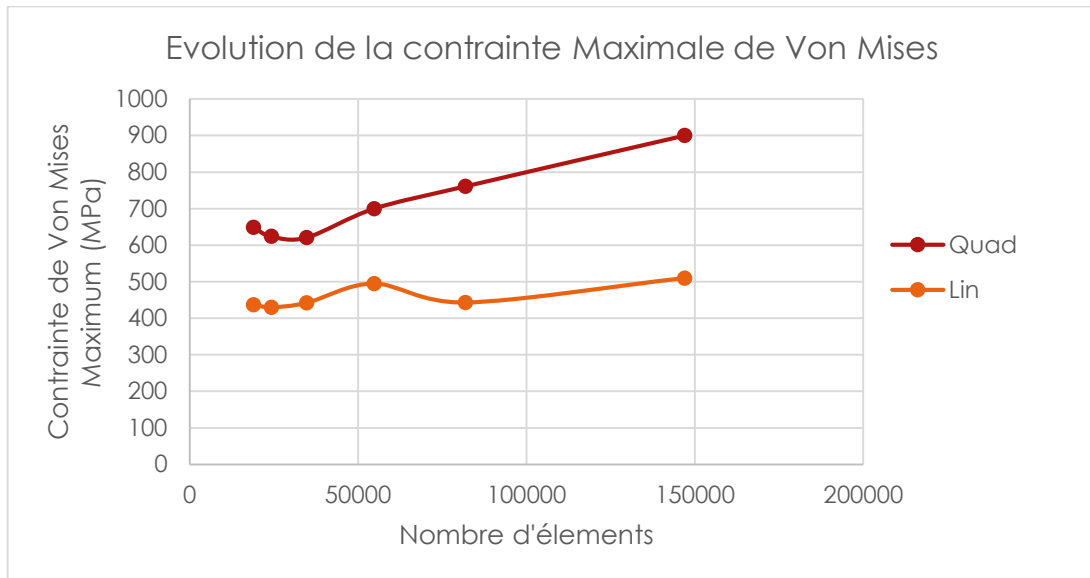


Figure 9 : Etude de convergence