



XXX-1

SCIPER: **COPIE-1**

Signature:

Posez votre carte d'étudiant sur la table et attendez le début de l'épreuve avant de tourner la page. Ce document est imprimé en recto-verso, et il contient 40 pages (les dernières pouvant être vides). Ne pas dégrafer.

• Matériel autorisé :

- Supports de cours et d'exercices (énoncés et corrigés), en version papier (annotations manuscrites autorisées) ;
- Dictionnaire ;
- Calculatrice programmable ou non-programmable, non-connectée ;
- Petite horloge ou montre non-connectée.
- Stylos, crayons, gomme, effaceur, correcteur blanc, règle graduée.

• Contenu de l'épreuve :

- Partie I : Questions à choix multiples, avec une ou plusieurs cases à cocher ;
- Partie II : Assemblages boulonnés (2 exercices) ;
- Partie III : Transmissions par engrenages (2 exercices) ;
- Partie IV : Transmissions par courroies (1 exercice).

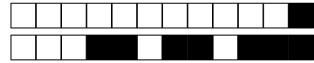
• Instructions pour les questions à choix multiples :

- Veuillez vous référer aux consignes détaillées dans le tableau ci-dessous, et en particulier :
- Utilisez un stylo à encre noire ou bleue foncée ;
- En cas d'erreur, effacez proprement avec du correcteur blanc.

• Si une question est erronée, l'enseignant se réserve le droit de l'annuler.

Respectez les consignes suivantes Read these guidelines Beachten Sie bitte die unten stehenden Richtlinien		
choisir une réponse select an answer Antwort auswählen	ne PAS choisir une réponse NOT select an answer NICHT Antwort auswählen	Corriger une réponse Correct an answer Antwort korrigieren
ce qu'il ne faut PAS faire what should NOT be done was man NICHT tun sollte		

Toute tentative de tricherie résulte en une exclusion immédiate de l'épreuve et une procédure disciplinaire.



PARTIE II - ASSEMBLAGES BOULONNES

- **Instructions :**

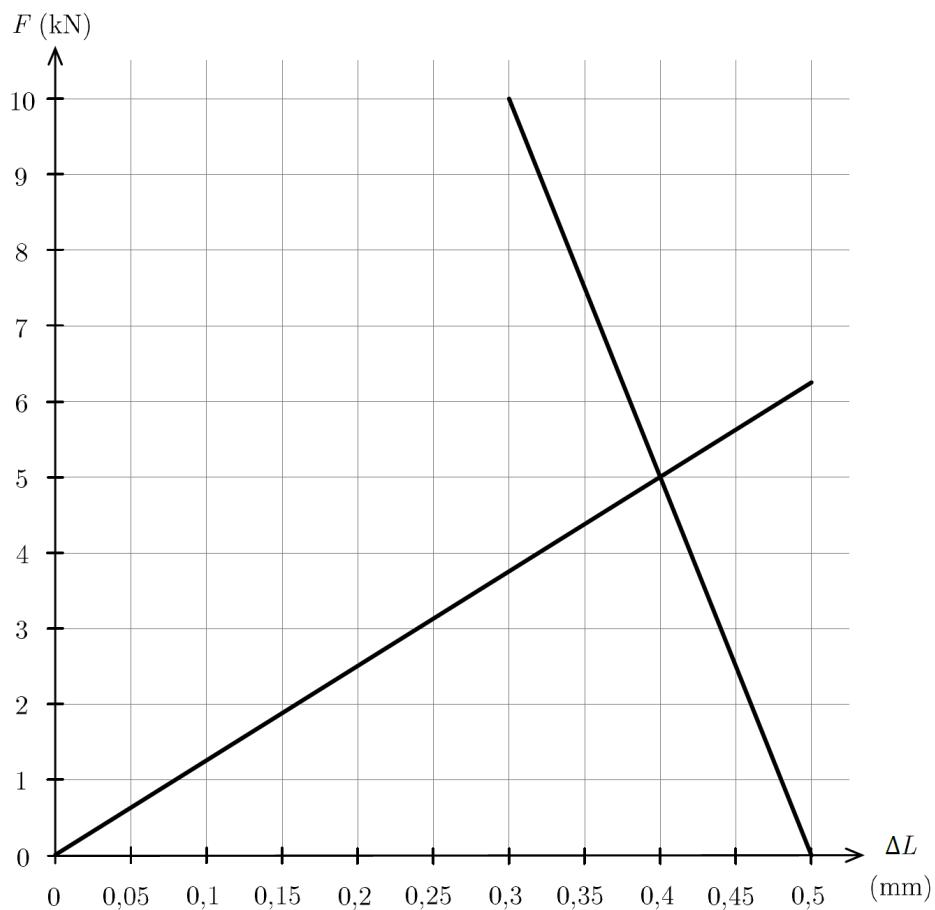
- Expliquez de manière claire vos raisonnements, posez les équations successives, et détailliez les applications numériques vous permettant de répondre à la question posée ;
- Procédez par étapes ;
- Attention aux unités pour les applications numériques.

- **Barème de notation :**

Pour chaque question, une moitié des points est attribuée à la pertinence des équations et des raisonnements utilisés, et l'autre moitié à l'exactitude des résultats numériques.

EXERCICE 1 :

On considère un assemblage boulonné précontraint constitué d'une vis et d'une bride dont le diagramme de précontrainte est fourni ci-dessous :



Cet assemblage boulonné est soumis à une force extérieure axiale alternée de nature vibratoire et de demi-amplitude 5'000 N autour de la valeur moyenne.

**Question 1:** (2 points)

0 .5 1 .5 2

Réservé au correcteur

Parmi les propositions suivantes, quelles sont les valeurs de force de traction maximale et minimale qui s'appliquent sur la vis sous chargement extérieur ?

- 0 N
- 1'000 N
- 2'000 N
- 3'000 N
- 4'000 N
- 5'000 N
- 6'000 N
- 7'000 N
- 8'000 N
- 9'000 N
- 10'000 N

Question 2: (3 points)

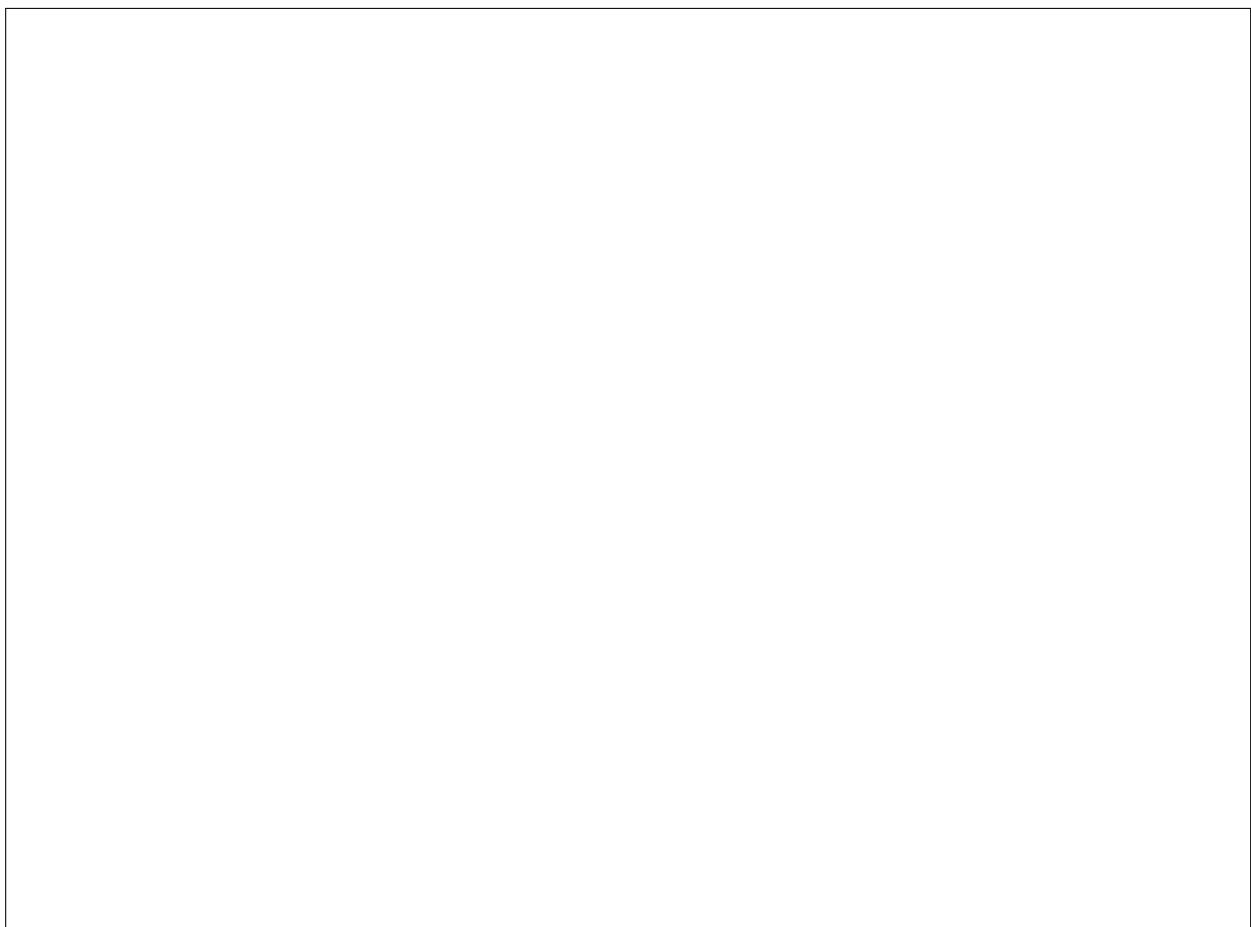
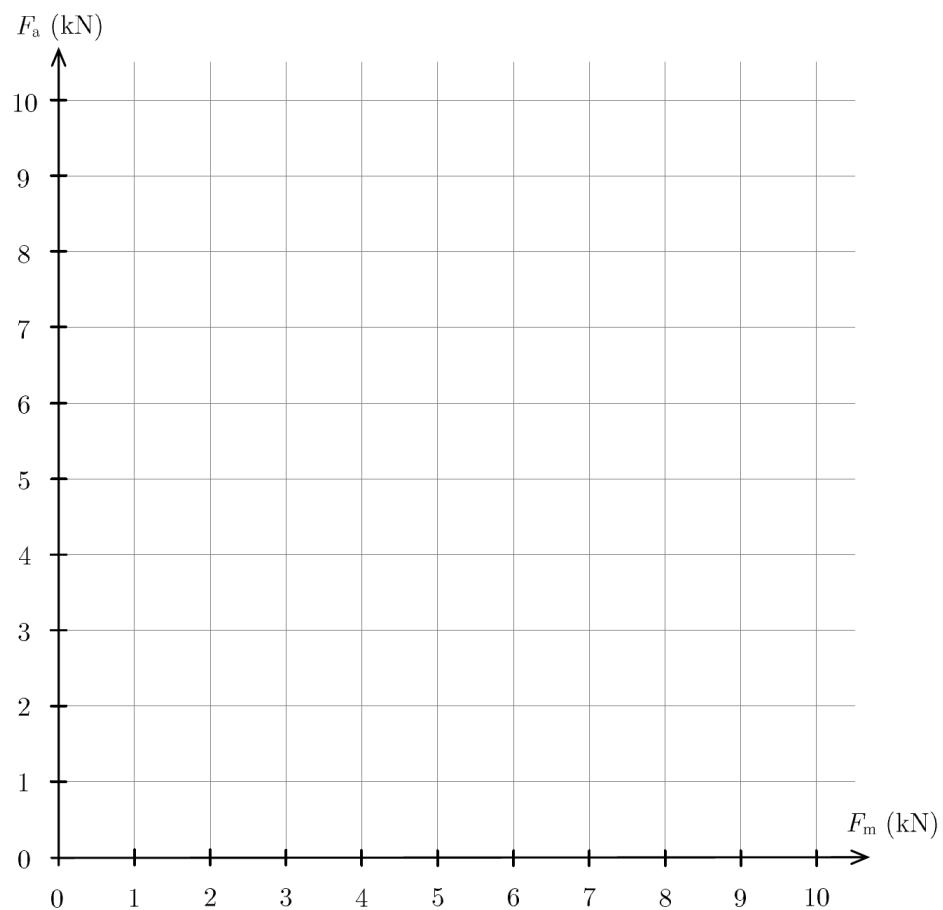
0 .5 1 .5 2 .5 3

Réservé au correcteur

On suppose que la vis est sollicitée en traction pure et que :

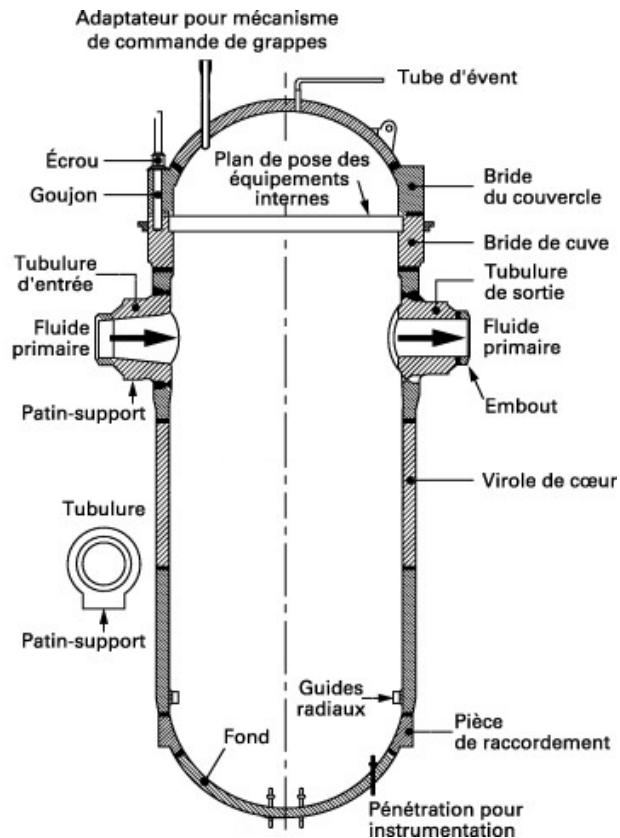
- Sa limite d'endurance en fatigue est atteinte lorsque la force de traction qui s'y applique vaut 4'000 N ;
- Sa limite élastique est atteinte lorsque la force de traction qui s'y applique vaut 9'000 N ;
- Sa limite à rupture est atteinte lorsque la force de traction qui s'y applique vaut 10'000 N.

À l'aide du repère de Haigh ci-après, déterminer la valeur du coefficient de sécurité structurale S correspondant au cas de charge décrit plus haut en considérant comme point limite de référence celui obtenu par le modèle de Soderberg.

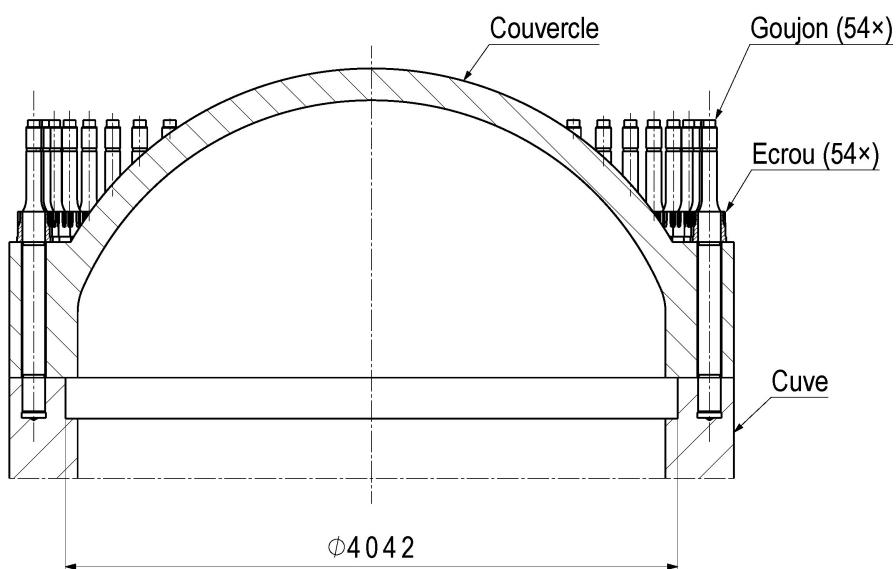


EXERCICE 2 :

On considère le système de fermeture de cuve équipant certains réacteurs à eau pressurisée de centrale nucléaire. Le modèle de cuve de réacteur étudié, dont une vue en coupe est donnée ci-dessous, a une capacité de puissance électrique nette nominale de 900 MW.



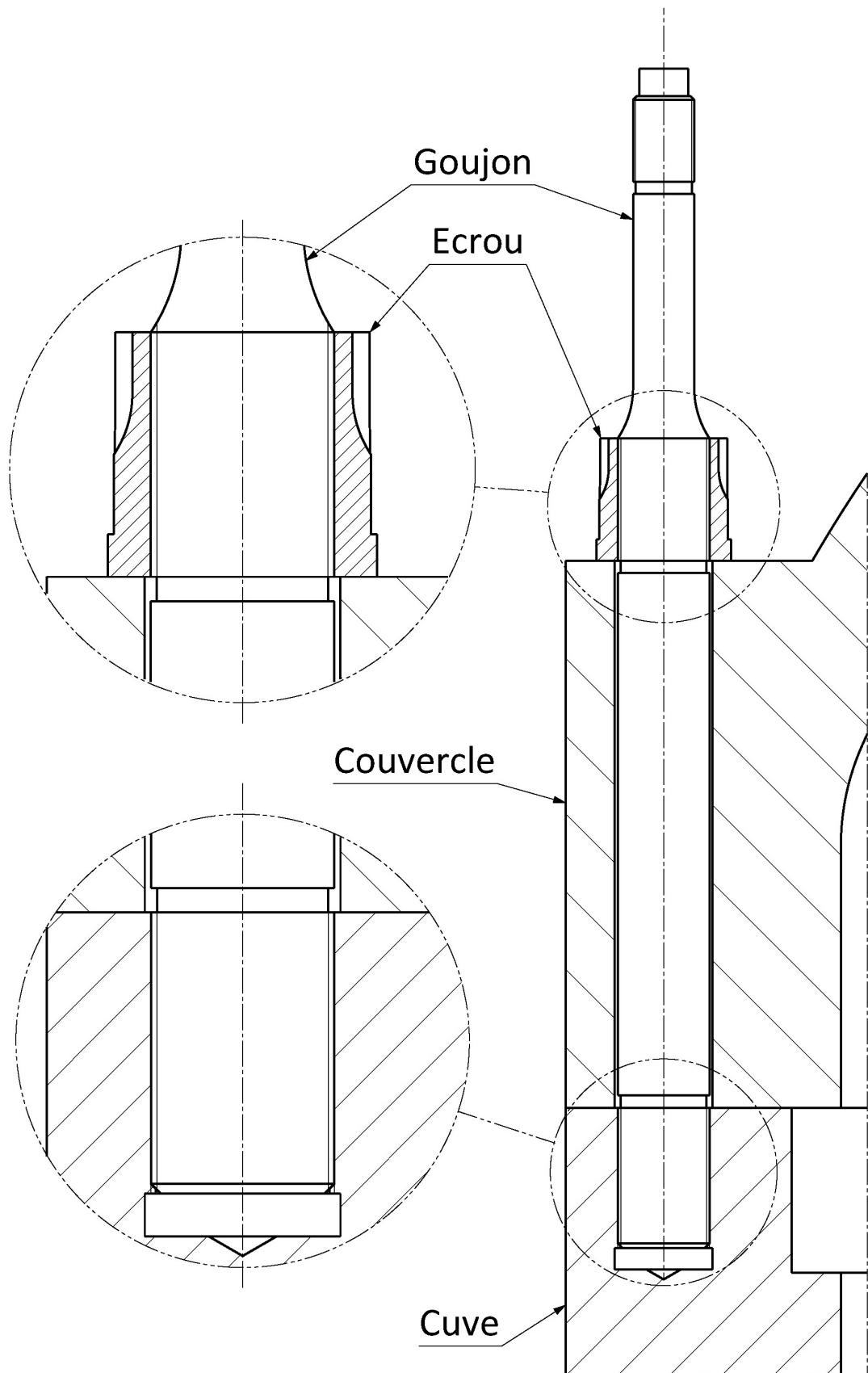
Cette cuve est fermée sur sa partie supérieure par un couvercle maintenu en position par un ensemble de 54 goujons et de 54 écrous précontraints, comme illustré sur la Figure ci-dessous.



L'annexe I donne une vue détaillée du boulonnage, et l'annexe II précise les dimensions du goujon.

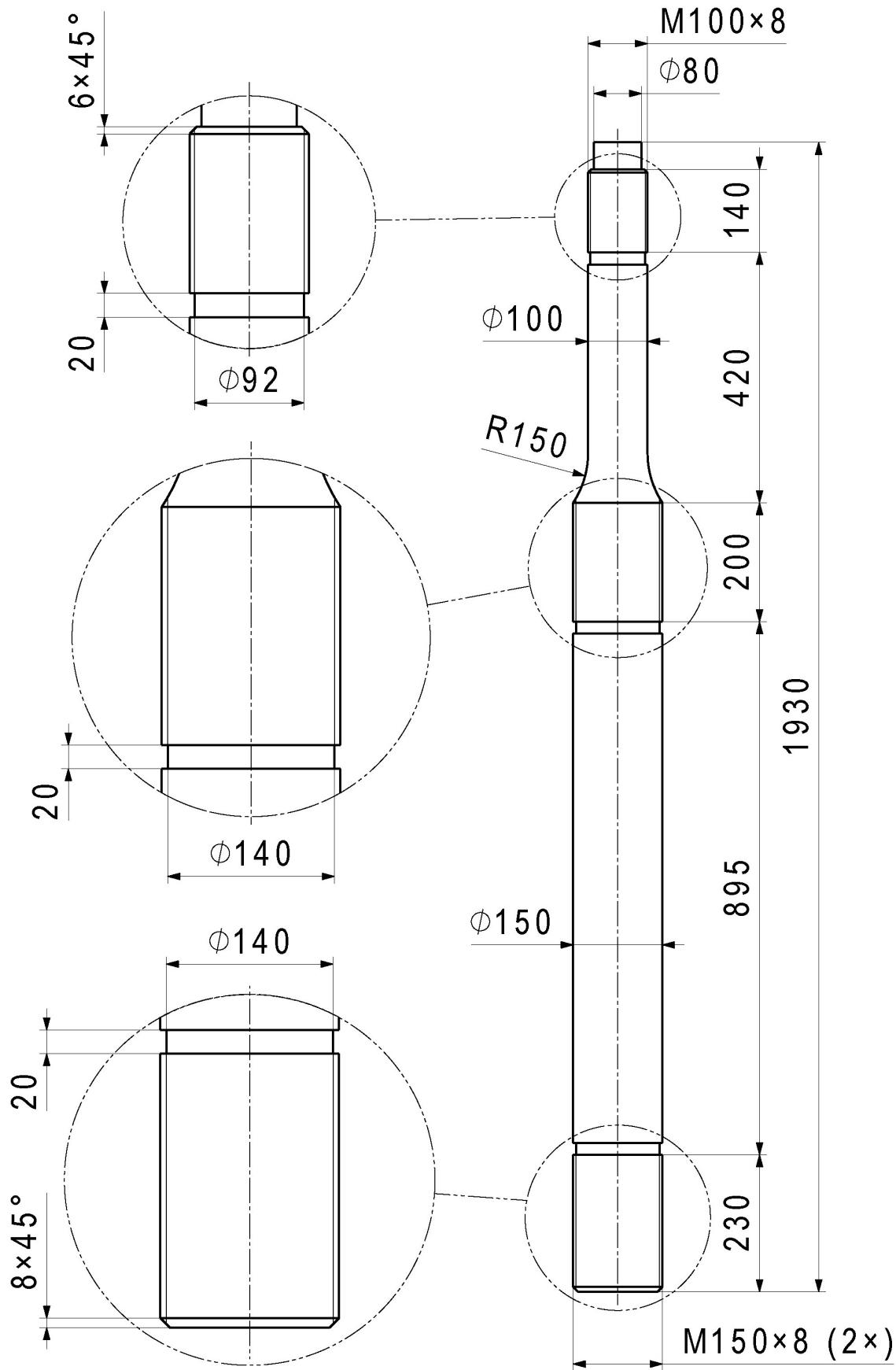


ANNEXE I - VUE DETAILLEE DU BOULONNAGE





ANNEXE II - DIMENSIONS DU GOUJON





La cuve est conçue pour contenir en fonctionnement normal de l'eau sous pression à une température d'environ 300°C.

Pour vérifier la bonne tenue mécanique du système, un essai non-destructif appelé « épreuve hydraulique » est réalisé tous les 10 ans. Durant cet essai, la pression de l'eau dans la cuve est amenée à 207 bar (elle est alors environ 30 % supérieure à la pression nominale de fonctionnement). C'est dans ces conditions que nous allons étudier le système de boulonnage du couvercle de cuve.

Question 1: (12,5 points)

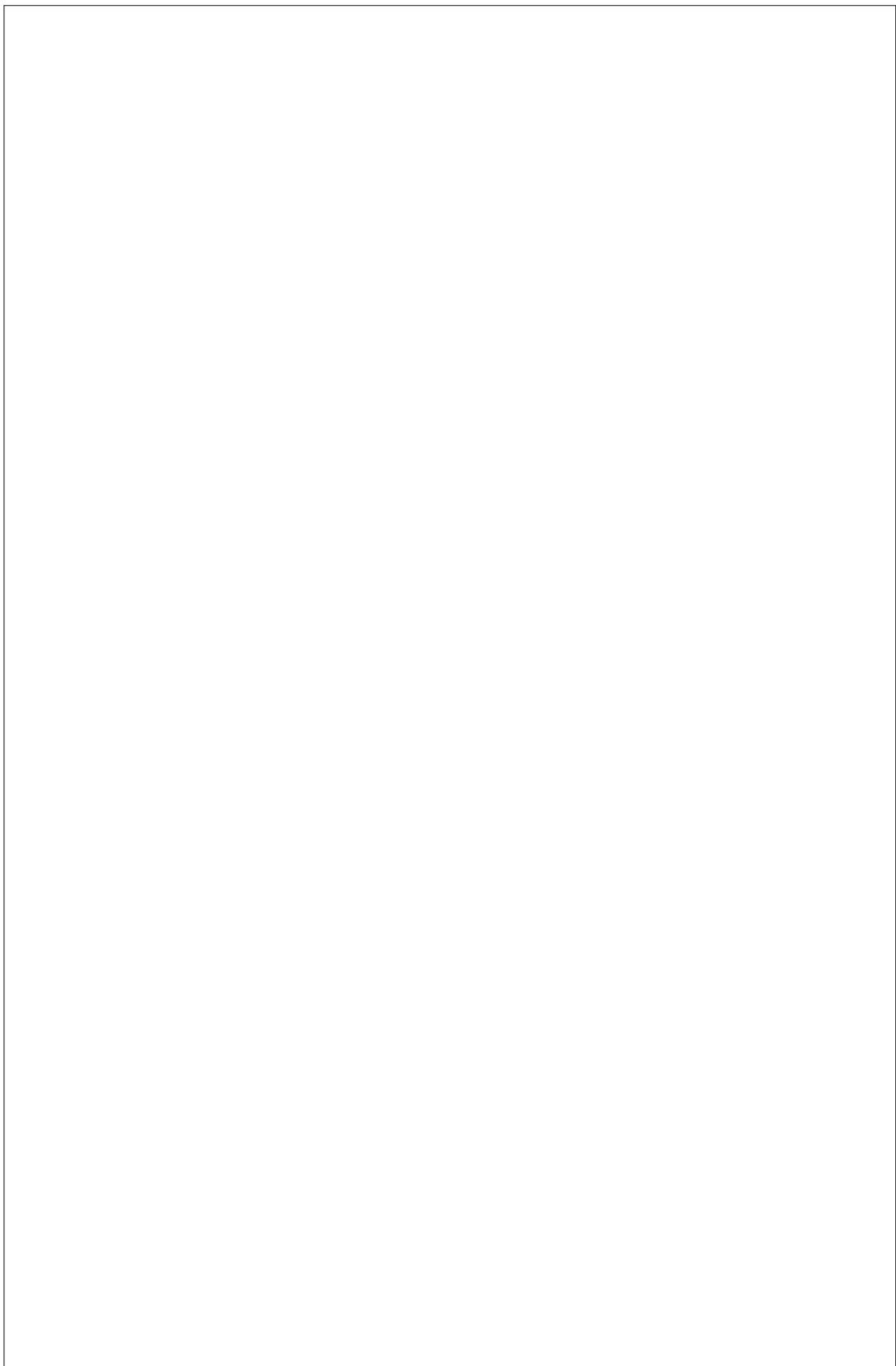
0 .5 1 .5 2 .5 3 .5 4 .5 5 .5 6 .5
 7 .5 8 .5 9 .5 10 .5 11 .5 12 .5 13

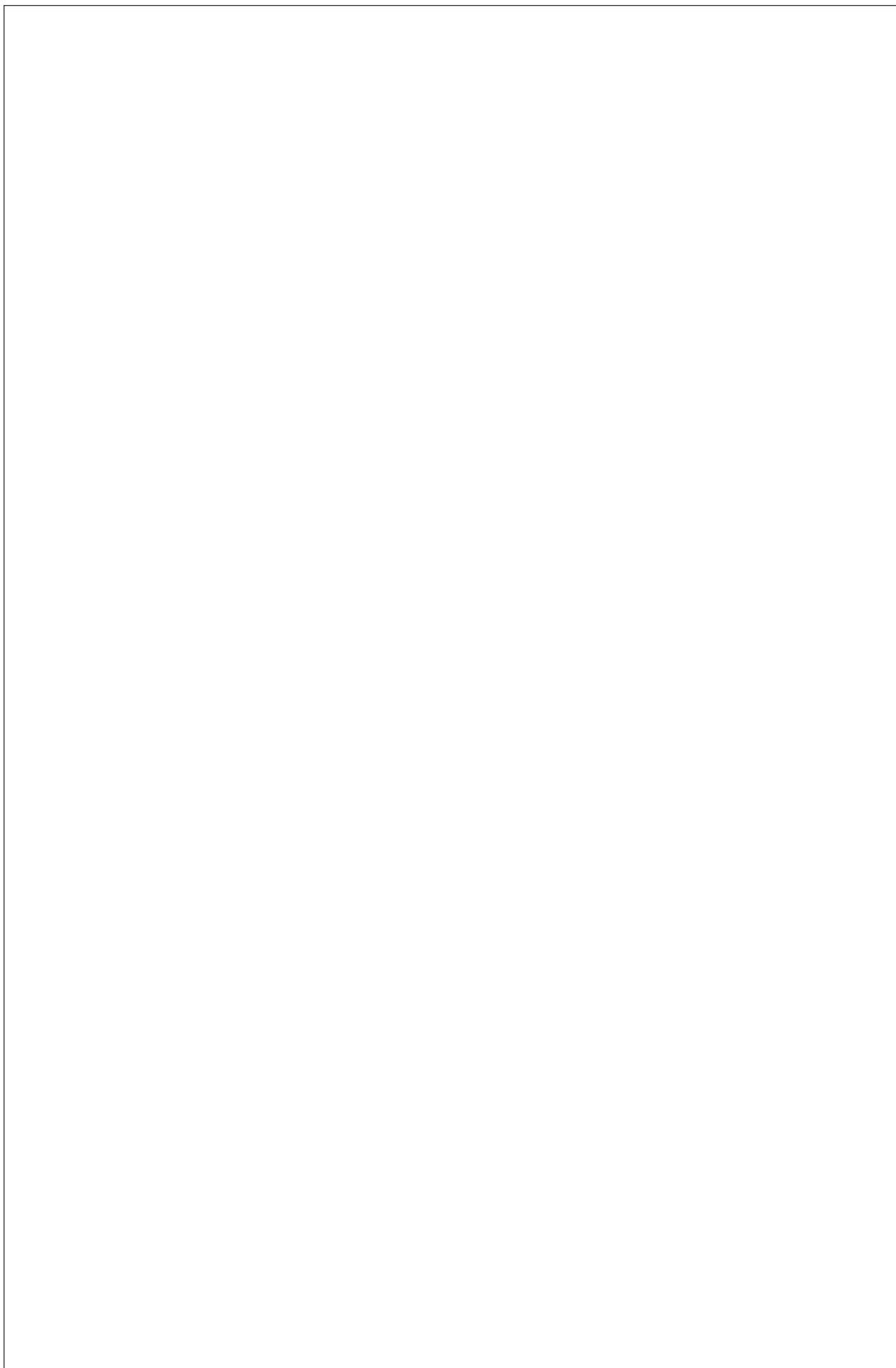
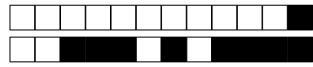
Réservé au correcteur

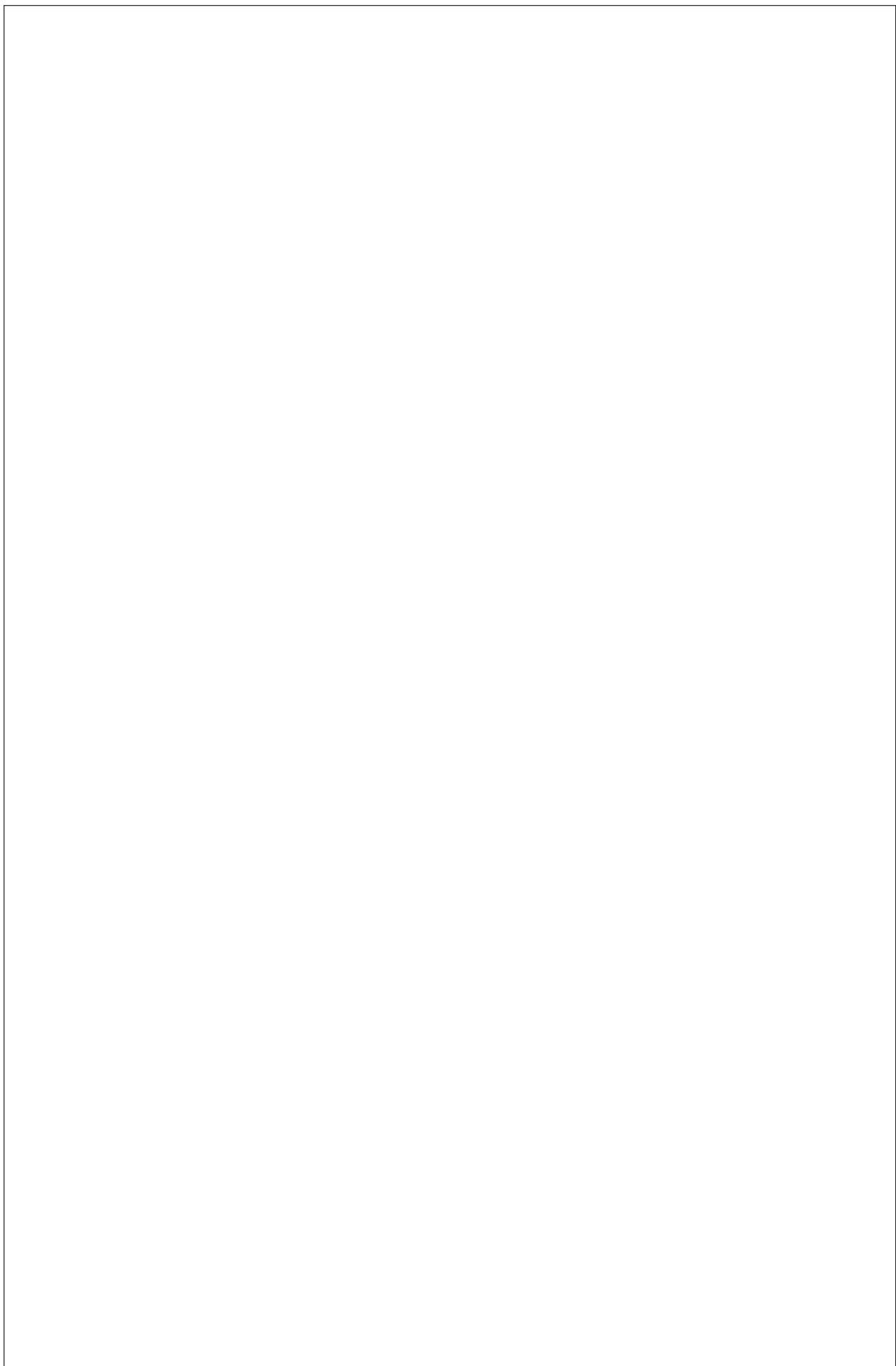
On souhaite que durant l'épreuve hydraulique la force d'appui du couvercle sur la cuve soit égale à la force résultante de la pression hydraulique qui s'exerce alors sur le couvercle lui-même. Déterminer la force de précontrainte qui doit être appliquée sur chaque goujon lors du serrage initial de l'écrou pour atteindre ce résultat, ainsi que la force de traction qui s'exerce sur le goujon précontraint lors de l'épreuve hydraulique.

On supposera ici que :

- Le facteur d'application de charge qui s'applique sur l'assemblage boulonné vaut $n = 1$;
- La cuve, le couvercle, les goujons et les écrous sont en acier, de module de Young $E = 210$ GPa ;
- La surface de substitution pour le calcul de la rigidité de la bride vaut $A_{\text{Sub}} = 70'000 \text{ mm}^2$.







**Question 2:** (4 points)

0 ,5 1 ,5 2 ,5 3 ,5 4

Réservé au correcteur

On suppose que le goujon est fabriqué dans un acier ayant une classe de qualité 12.9, et que la mise en précontrainte de chaque goujon, telle que calculée précédemment, est réalisée au moyen d'un tendeur hydraulique.

Déterminer la contrainte de traction maximale qui s'exerce sur le goujon lors de l'épreuve hydraulique et en déduire le coefficient de sécurité sur cette contrainte en considérant la contrainte limite élastique du goujon comme contrainte limite admissible.

NB : On ne tiendra pas compte ici d'éventuels effets de concentration de contrainte qui pourraient s'appliquer dans la zone concernée du goujon.

**Question 3:** (3 points)

0 .5 1 .5 2 .5 3 .5 4 .5 5

Réservé au correcteur

Quels sont les trois avantages qu'offre l'utilisation d'un tendeur hydraulique pour obtenir la précontrainte de serrage sur chaque goujon dans le cas étudié ici ?