

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR****PRODUCTIQUE MÉCANIQUE****E4: CONCEPTION DES OUTILLAGES**

*Sous-épreuve : U.41 - Conception d'un outillage*

Durée : 3 heures 30

Coefficient : 2,5

*Aucun document autorisé*

**Contenu du dossier**

Texte du sujet: feuille 1 /10 à feuille 10/10

**Cette sous-épreuve a pour objectif de valider les compétences**

- C 21 : analyser une solution d'outillage
- C 23 : valider et/ou dimensionner tout ou partie d'une solution d'outillage
- C 24 : améliorer une solution d'outillage

**CALCULATRICE AUTORISÉE**

*Sont autorisées toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimantes.*

*Le candidat n'utilise qu'une seule machine sur la table. Toutefois, si celle-ci vient à connaître une défaillance, il peut la remplacer par une autre.*

*Afin de prévenir les risques de fraude, sont interdits les échanges de machine entre les candidats, la consultation des notices fournies par les constructeurs ainsi que les échanges d'informations par l'intermédiaire des fonctions de transmission des calculatrices.*

**Tous les documents réponses (feuilles de copies et feuilles réponses du sujet) seront placés dans cette chemise de présentation et rendus à la fin de la sous-épreuve.**

## **ANALYSE DE LA SOLUTION EXISTANTE RELATIVE AU PORTE PIECE - PHASE 20**

### **Mise en situation de l'étude.**

Certains problèmes sont apparus lors de la fabrication des pièces :

- ❑ Taux de rebut important dû :
  - Au non-respect de la spécification de localisation du  $\varnothing 7H7$ .
  - A un bris de pièces lors de l'usinage du  $\varnothing 10H7$  en phase d'ébauche.
  
- ❑ Marquage des pièces lors du bridage.
  
- ❑ Ergonomie et efficacité du dispositif de bridage (temps de bridage des pièces trop important par rapport au temps de cycle d'usinage de la phase 20).

**L'ETUDE PROPOSEE VA PORTER SUR L'ANALYSE CRITIQUE DU MONTAGE.**

**TOUTES LES REPONSES SERONT REDIGÉES SUR FEUILLE DE COPIE**

## A. ANALYSE DE LA MISE EN POSITION D'UNE PIÈCE SUR L'OUTILLAGE

### Données de l'étude :

- Quatre pièces sont posées sur la semelle du montage d'usinage voir DT6
- Le contact des pièces sur la butée  $\underline{6}$  n'est pas assuré lors du bridage (voir schéma pour une pièce fig.1), ce qui implique le non-respect de la spécification de localisation du  $\varnothing 7H7$ .

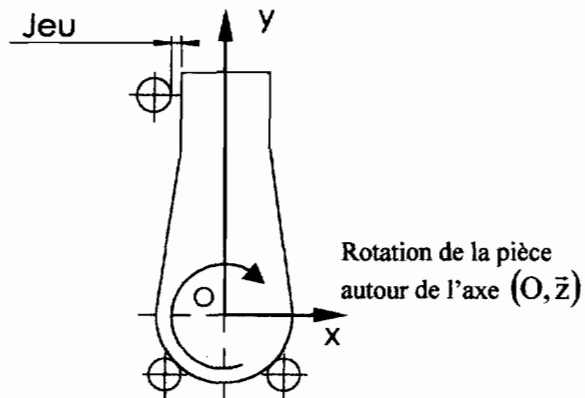


fig. 1

- Pour garantir cette spécification géométrique, on propose de modifier cette liaison (voir fig.2).

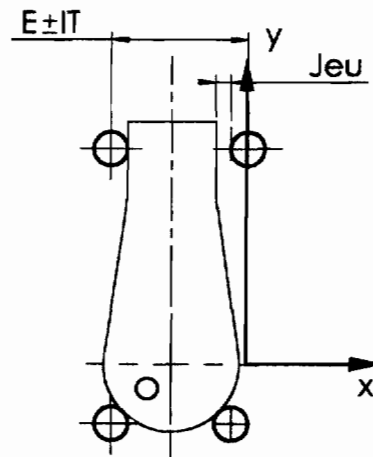


fig. 2

- Jeu mini de montage de la pièce = 0,05 mm.
- Jeu Maxi = 0,1 mm.
- $\varnothing$  Pion =  $\varnothing 5h6$ .

**A1. Déterminer** l'entraxe E entre les deux pions et son intervalle de tolérance pour garantir la spécification de localisation du  $\varnothing 7H7$ .

**B. ANALYSE DU MAINTIEN EN POSITION D'UNE PIECE GRACE A LA BRIDE 2**

**Données de l'étude :**

- Le maintien en position sur le montage d'une chape par l'une des brides 2, peut être modélisé par le schéma cinématique suivant :

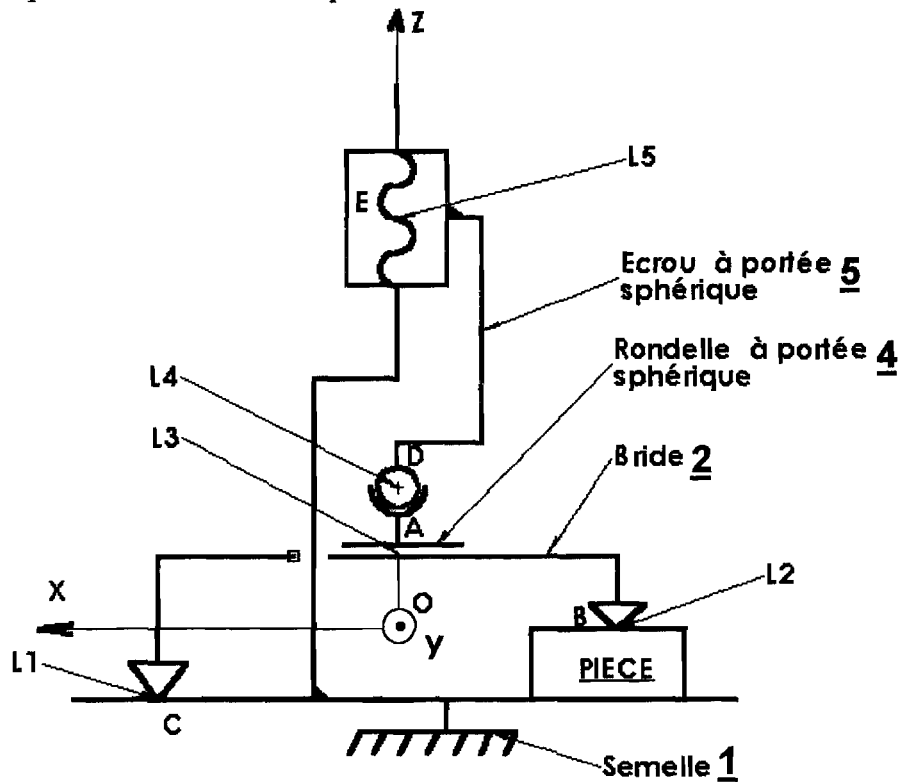


fig.3

- Coordonnées des points dans le repère  $(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  :  
 $A(0,0,a)$  ;  $D(0,0,e)$  ;  $B(-b,0,0)$  ;  $E(0,0,f)$  ;  $C(c,0,-d)$

**B1.** A partir du schéma cinématique ci-dessus (fig.3), réaliser le graphe des liaisons. Déduire de leur symbolisation, la nature des liaisons retenues.

**B2.** Déterminer la liaison équivalente, due au système de serrage, entre la semelle 1 et la pièce en utilisant, soit les torseurs statiques, soit les torseurs cinématiques de liaisons. Les torseurs associés à la liaison  $L_i$  seront notés :

$$\{T_i\}_P = \begin{Bmatrix} X_i & L_i \\ Y_i & M_i \\ Z_i & N_i \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} \quad \text{pour le torseur statique et} \quad \{V_i\}_P = \begin{Bmatrix} \alpha_i & u_i \\ \beta_i & v_i \\ \gamma_i & w_i \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} \quad \text{pour le torseur cinématique}$$

Montrer que la liaison équivalente induite par le serrage n'est pas une liaison libre.

**B3.** Exprimer le degré d'hyperstatisme de la liaison équivalente entre la bride 2 et l'ensemble {pièce, semelle 1}. En considérant que les géométries de la semelle et de la pièce sont parfaites, indiquer la spécification géométrique à installer sur la bride pour ne pas remettre en cause le positionnement de la pièce sur le montage.

## C. ANALYSE DES RISQUES DE MARQUAGE DES PIÈCE LORS DU SERRAGE

### 1. Détermination des efforts de serrage appliqués à une pièce

#### Données de l'étude :

- Une pièce est maintenue en position sur le montage par les brides 2 et 3 voir DT6 et (fig. 4).
- Le serrage est assuré par deux ensembles {goujon, écrou à portée sphérique et rondelle concave}.
- Le rayon de contact aux points B et D est :  
 $r=5\text{mm}$ .
- On donne les coordonnées des vecteurs dans la base  $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  :

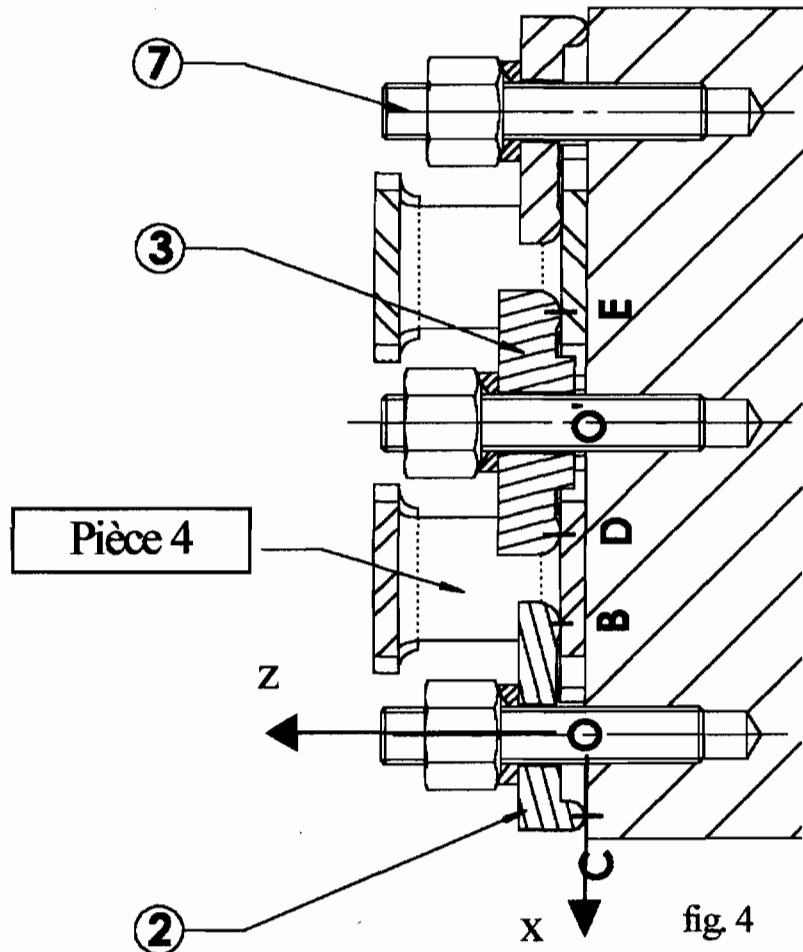
$$\vec{OC}(11, 0, -2)$$

$$\vec{OB}(-8, 0, 0)$$

$$\vec{O'D}(11, 0, 0)$$

$$\vec{O'E}(-11, 0, 0)$$

unité : mm



- Le problème admet le plan  $(O, \vec{x}, \vec{z})$  comme plan de symétrie pour la géométrie des pièces et des actions mécaniques extérieures qui leur sont appliqués.
- Le poids des différents éléments du montage est négligeable.
- La longueur (notée L) de la clé utilisée pour le serrage est de  $L=100\text{ mm}$ .
- D'après les principes ergonomiques, l'opérateur ne peut exercer un effort de plus de 100 N.  

$$\|\vec{R}_{op \rightarrow clé}\| = 100\text{ N}$$
- Le serrage est réalisé par l'intermédiaire d'un écrou à portée sphérique M6 au pas de 1mm.

**C1.** Déterminer la valeur du couple de serrage exercé par la clé sur l'écrou 5 noté  $\|\vec{C}_{\text{clé} \rightarrow 5}\|$ .

**C2.** Déterminer l'effort de serrage de l'écrou 5 sur la bride 2 noté :  $\|\vec{R}_{5 \rightarrow 2}\|$ .

**Rappel : Relation couple/effort de serrage dans un système vis-écrou**

$$\|\vec{C}_{\text{clé} \rightarrow \text{écrou}}\| = \|\vec{C}_f\| + \|\vec{R}_{\text{écrou} \rightarrow \text{bride}}\| \times \frac{d_2}{2} \times \tan(\varphi' + \alpha)$$

Avec :

- $\|\vec{C}_f\|$  : Couple de frottement "perdu" entre l'écrou, la rondelle à portée sphérique et la bride. Le couple de frottement  $\|\vec{C}_f\|$  absorbe 40% du couple de serrage.
- $d_2$  : rayon moyen du filetage voir DT11
- $\varphi'$  : angle tel que :  $\tan \varphi' = \frac{\tan \varphi}{\cos \beta}$ .
- $\beta$  : demi-angle au sommet du filet (pour profil ISO  $\beta = 30^\circ$ ).
- $f$  : coefficient de frottement acier sur acier :  $f = \tan \varphi = 0,15$ .
- $\alpha$  : angle d'inclinaison d'hélice :  $\tan \alpha = \frac{\text{pas}}{\pi \times d_2}$ .

**C3.** Isoler la bride 2 et déterminer l'action de la bride 2 sur la pièce 4 au point B. Quels que soient les résultats déterminés pour la question C2, on prendra :

$$\|\vec{R}_{\text{écrou} \rightarrow \text{bride2}}\| = 5600\text{N}$$

**2. Analyse des pressions de contact sur la pièce en B**

Pour des raisons de sécurité (pièces aéronautiques), aucune marque n'est tolérée sur les différentes pièces.

**Données de l'étude :**

- Pression admissible par la pièce est  $P_{\text{adm}} = 180 \text{ MPa}$ .

**C4.** Déterminer la pression de contact en B entre la pièce 4 et la bride 2. Conclure sur les risques de marquage de la pièce. (Voir rappel sur les lois de Hertz page suivante).

**Rappel : Relation de Hertz relative au contact linéique entre deux solides notés 1 et 2.**

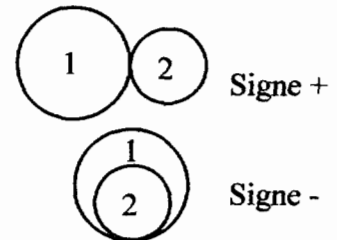
$$p = 0.418 \sqrt{\frac{\|\vec{R}\| \cdot Ee}{r_r \cdot l}}$$

Avec :

- $p$  : pression de contact (MPa)
- $\|\vec{R}\|$  : résultante des efforts au contact de la pièce (N).
- $r_r$  : rayon de courbure relatif au niveau du contact (mm).

$$\text{Relation : } \frac{1}{r_r} = \left| \frac{1}{r_1} \pm \frac{1}{r_2} \right|$$

- $r_1$  : rayon de courbure du cylindre 1.
- $r_2$  : rayon de courbure du cylindre 2.
  - ◆ Signe + pour la tangence extérieure.
  - ◆ Signe - pour la tangence intérieure.



- $Ee$  : Module d'élasticité équivalent (MPa).
- Relation :  $\frac{1}{Ee} = \frac{1}{2} \times \left| \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right|$
- $E_1$  : Module d'élasticité du matériau du solide 1.
- $E_2$  : Module d'élasticité du matériau du solide 2.
- $E_{\text{acier}} : 210\ 000\ \text{MPa}$                        $E_{\text{alu}} : 75\ 000\ \text{MPa}$
- $l$  : longueur de contact :  $l = 7\ \text{mm}$  en B.

**3. Modification du système de serrage**

La question précédente montre qu'il y a matage de la pièce à cause des efforts de bridage. D'autre part l'analyse du maintien en position de la pièce montre que les liaisons choisies engendrent de l'hyperstatisme voir questions B.

**C5. Modifier** la liaison (contact bride / pièce) par une ou plusieurs liaisons assurant :

- Une liaison libre entre la bride et la pièce.
- Une pression de contact bride / pièce acceptable

**Justifier** vos réponses et **proposer** un schéma cinématique ou un croquis à main levée des modifications

## D. INFLUENCE DES EFFORTS DE COUPE EN PERÇAGE SUR LA PIÈCE LORS DE L'USINAGE DU Ø9,8 mm

### 1. Analyse des contraintes appliquées à la pièce pendant l'usinage

#### Données de l'étude :

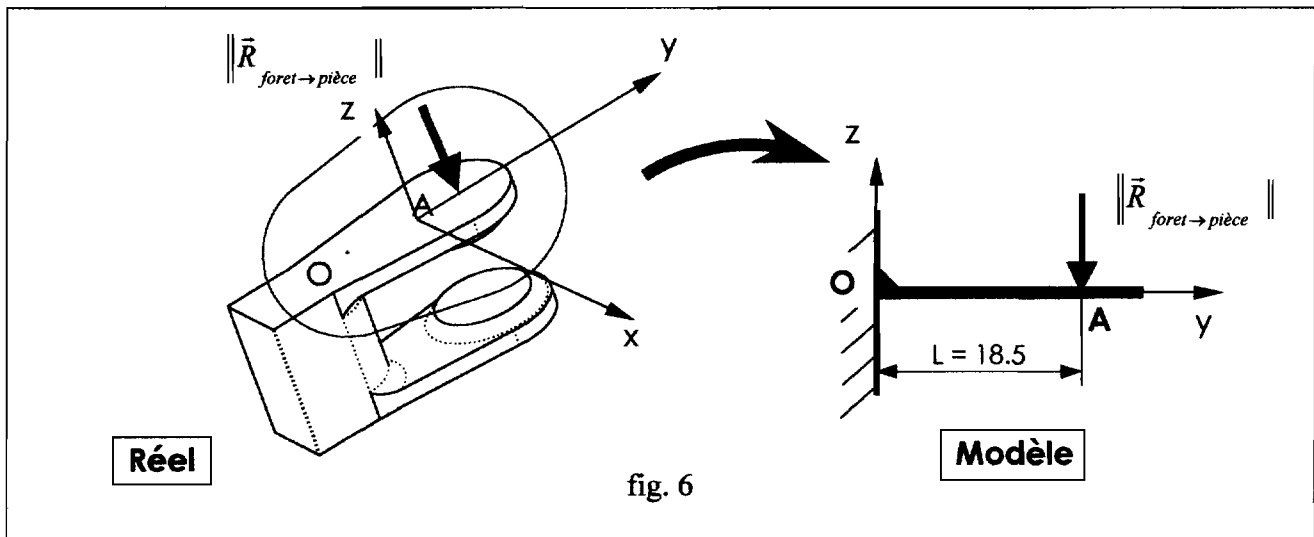
- Pour l'étude de résistance des matériaux, on propose la modélisation de la (fig. 6) qui néglige l'effet du moment du couple de perçage en A.
- Une étude des efforts de coupe a permis de déterminer l'action du foret sur la pièce :

$$\|\bar{R}_{\text{foret} \rightarrow \text{pièce}}\| = 442 \text{ N}$$

- La poutre est considérée rectiligne, de section constante et admet un plan de symétrie  $(O, \bar{y}, \bar{z})$ .
- La pièce est réalisée en alliage d'aluminium Al Si 7 Mg, pour lequel :  
 $E = 75\,000 \text{ MPa}$ ,  $R_e = 180 \text{ MPa}$  et  $R_r = 520 \text{ MPa}$ .

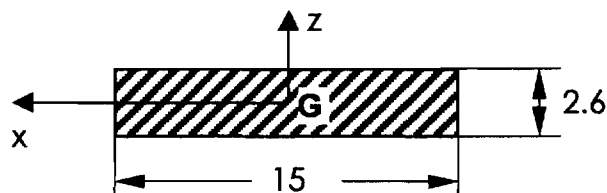
**D1. Identifier** la nature de la sollicitation appliquée à la poutre.

**D2. Déterminer** le moment de flexion  $|M_{f_x}|_{\text{Maxi}}$  ainsi que la section la plus sollicitée.



**D3. Déterminer** la valeur de la contrainte normale  $|\sigma|_{\text{MAXI}}$  et conclure sur la résistance de la pièce.

**Remarque :** Dans sa section la plus sollicitée, la poutre a pour dimensions :





## 2. Modification du brut

### Données de l'étude :

- Suite aux résultats précédents, la société, en concertation avec son donneur d'ordre, décide modifier la pièce brute. Pour des raisons de sécurité, la contrainte  $|\sigma|_{\text{MAXI}}$  doit rester inférieure à 120 MPa. Ceci entraîne la réalisation d'un avant trou sur le brut de fonderie (voir fig. 7).

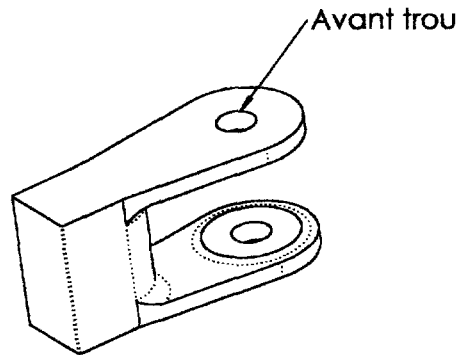


fig. 7

**D5.** Déterminer en fonction de  $|\sigma|_{\text{MAXI}}$  la valeur de  $|Mf_x|_{\text{MAXI}}$  dans la section la plus sollicitée.

**D6.** En déduire la valeur de l'effort appliqué par le foret sur la pièce en cours d'usinage.

**D7.** Déterminer le diamètre du trou réalisé en fonderie, pour cela on donne la relation suivante :

$$\|\vec{R}_{\text{foret} \rightarrow \text{pièce}}\| = 0,44 \times K_f \times f \times (d - d_a)$$

Avec :

- $\|\vec{R}_{\text{foret} \rightarrow \text{pièce}}\|$  : résultante de l'action d'avance du foret sur la pièce (N).
- $K_f$  : pression spécifique de coupe (MPa).
- $f$  : avance par tour (mm/tr).
- $d$  : diamètre du foret (mm).
- $d_a$  : diamètre d'avant trou (mm).

## E. ANALYSE DES DEFORMATIONS DE LA CHAPE

### 1. Etude par la Résistance des Matériaux

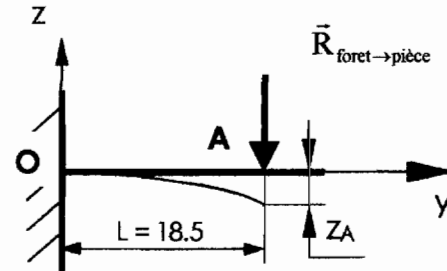
#### Données de l'étude :

- Quels que soient les résultats déterminés précédemment, on prendra  $\|\vec{R}_{\text{foret} \rightarrow \text{pièce}}\| = 110 \text{ N}$ .  
Cet effort est obtenu avec un avant trou de fonderie.

- Rappel :**

$$|z_A| = \frac{F \times l^3}{3.E.I_{(G,\bar{x})}}$$

avec  $\|\vec{R}_{\text{foret} \rightarrow \text{pièce}}\| = F$



**E1.** Déterminer la déformée de la poutre au point A, notée  $|z_A|$ .

### 2. Analyse des résultats obtenus à l'aide d'un logiciel de calcul par éléments finis

#### Données de l'étude :

- Le document ci-joint (page 10/10) montre les déformations de la pièce lors de l'opération de perçage  $\varnothing 9,8 \text{ mm}$  avec un avant trou de fonderie comme déterminé précédemment.

**E2.** Comparer le résultat de la flèche obtenue par la formule issue de la théorie de la Résistance des Matériaux à celle obtenue avec le logiciel. **Conclure** sur la validité du "modèle poutre" pour la détermination des déformations.

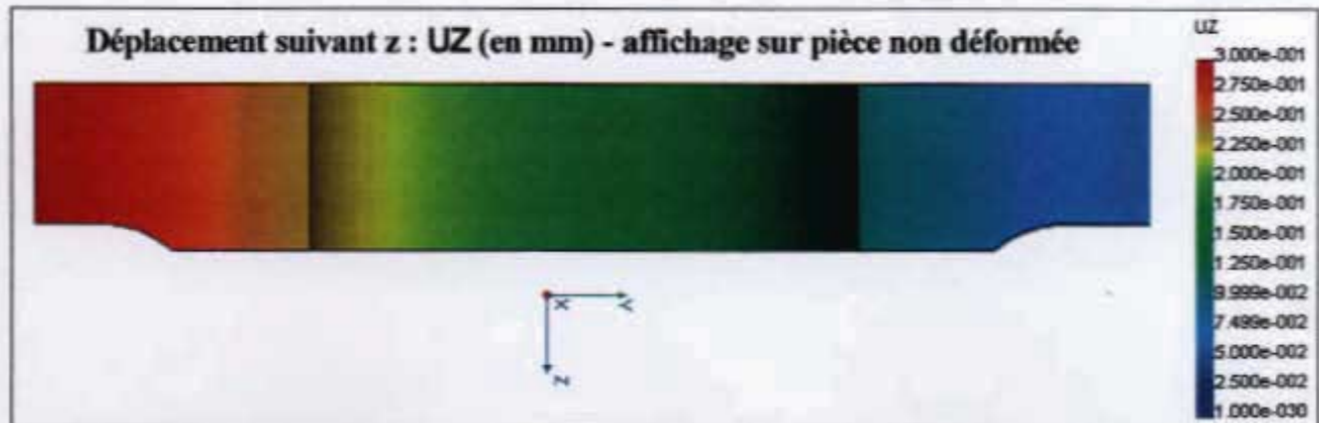
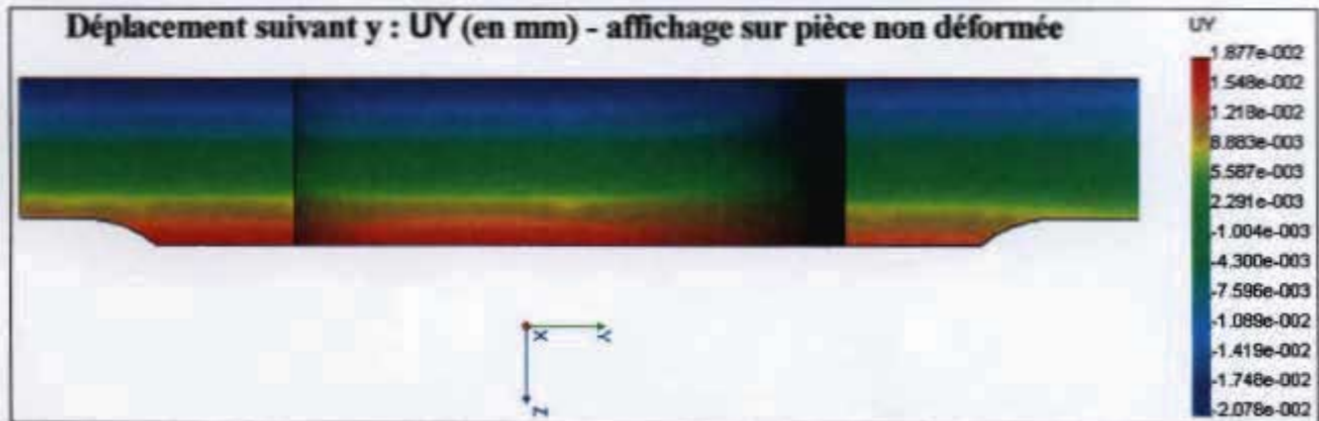
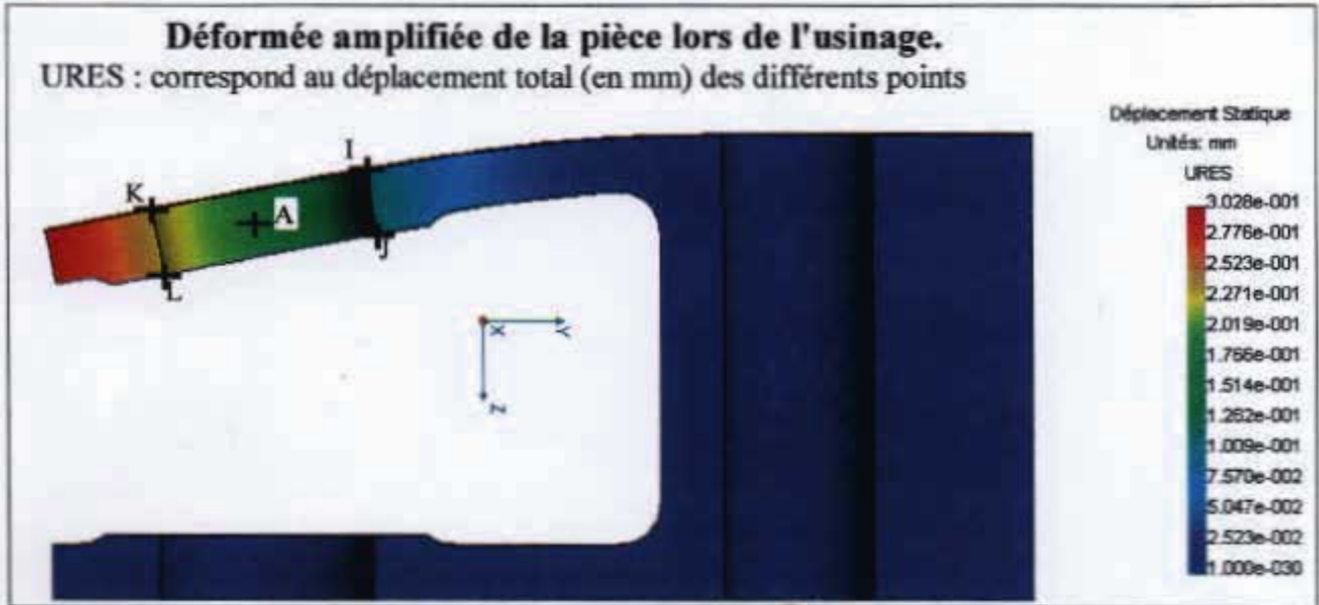
**E3.** Indépendamment des écarts dimensionnels liés à l'opération de perçage par foret et compte tenu de la géométrie de la pièce, **justifier** qualitativement, l'obligation de réaliser une opération de finition à l'alésoir pour obtenir le diamètre  $\varnothing 10\text{H7}$  ainsi que la rectitude en zone commune  $\varnothing 0,01 \text{ mm}$ .

On rappelle  $\varnothing 10\text{H7} = 10^{+0,015}_0$

## Simulation avec un logiciel de calcul par éléments finis

- **Données de la simulation.**

Seul l'effort axial dû au perçage, avec avant trou, a été pris en compte.



Déplacement (mm)/point	A	I	J	K	L
UY	-	-0,018	0,015	-0,021	0,019
UZ	0,172	0,111	0,111	0,238	0,238