

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

**INDUSTRIALISATION DES PRODUITS MECANIQUES**

**E4 : ETUDE DE PREINDUSTRIALISATION**

**Cette épreuve a pour objectif de valider les compétences :**

- C01 : Proposer et argumenter des modifications de la pièce liées aux difficultés techniques et aux surcoûts de production.
- C03 : Pour chacun des procédés visés, proposer un processus prévisionnel et des principes d'outillages associés.
- C04 : Valider le choix du couple matériau - procédé d'élaboration au regard de la géométrie et des spécifications de la pièce à produire.
- C05 : Spécifier les moyens de production nécessaires.
- C06 : Etablir les documents destinés aux partenaires co-traitants et sous-traitants.

**PARTIE 1**

Etude de la relation « produit - procédé - processus prévisionnel »

Durée conseillée : **3 heures**

Aucun document autorisé

**Contenu du dossier :**

- Contexte de l'étude ;
- Enoncé du sujet ;
- Documents ressource ;
- Documents réponse.

**CALCULATRICE AUTORISEE**

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 fraudes, 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.

# SUJET 0

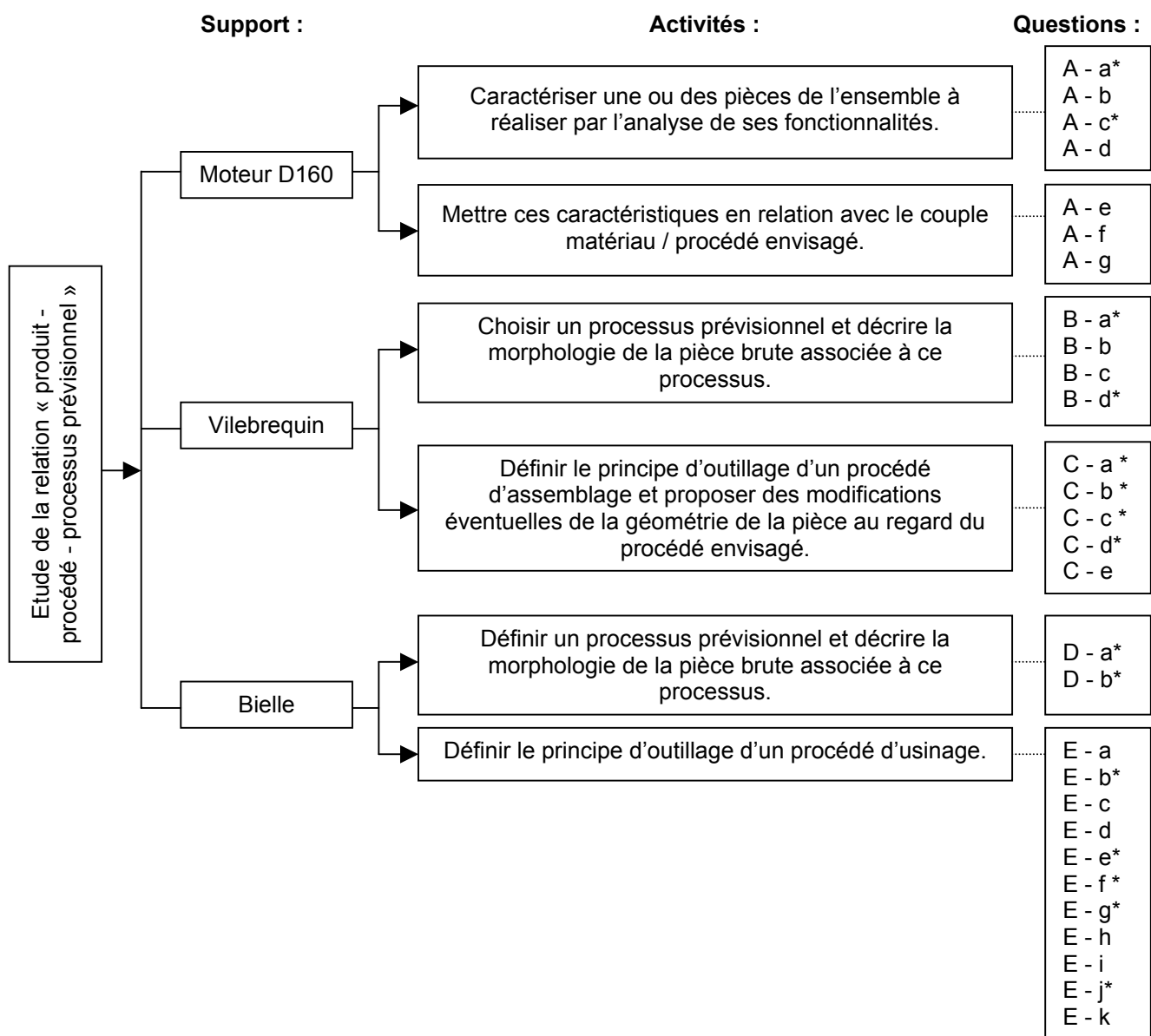
## CONTEXTE D' ETUDE DE LA 1<sup>ère</sup> PARTIE DU SUJET

L'état d'avancement de la conception du moteur D160 impose de faire des choix sur les matériaux, les procédés et les processus prévisionnels. La validation de ces choix permettra d'une part, de prendre en compte les incidences de ceux-ci sur la définition du produit et d'autre part, de prévoir suffisamment tôt les besoins en terme de moyens de production internes à l'entreprise (machine-outil, outillage...) ou externes (sous-traitance...).

Une première activité vous est proposée pour vous permettre de découvrir le support utilisé tout au long du sujet et de découvrir les fonctions auxquelles participent les pièces étudiées. Elle permet également de prendre en compte dès la conception préliminaire la relation « produit - matériau - procédé envisageable ».

L'étude portera ensuite sur deux pièces de l'ensemble, à savoir, le vilebrequin (lui-même constitué de trois pièces) et la bielle.

La structure de cette première partie est schématisée ci-dessous :



\* Ces questions sont indépendantes.

**A - Caractériser une ou des pièces de l'ensemble à réaliser par l'analyse de ses fonctionnalités et mettre ces caractéristiques en relation avec le couple matériau / procédé envisagé.**

Le paramoteur D160 est représenté sur le document technique DT2 (éclaté partiel et vue 3D). Le schéma structurel (diagramme de flux) et le FAST partiel du produit sont représentés sur le document technique DT3.

**Répondre sur le document réponse 1.1**

Question A-a :

- **Repérer puis désigner** sur toutes les vues de la mise en plan les pièces participant à FT2 : Transformer un mouvement de translation en un mouvement de rotation.

Question A-b :

- **Identifier** dans le tableau les pièces participant à FT2 : Transformer un mouvement de translation en un mouvement de rotation.

Question A-c :

- **Surligner** sur la vue de détail B les surfaces participant à FT121 : Former la chambre de combustion.

Question A-d :

- **Identifier** dans le tableau les pièces participant à FT121 : Former la chambre de combustion.

Utiliser le document ressource 1.1 pour répondre aux questions suivantes :

**Répondre sur le document réponse 1.1**

Question A-e :

- En **déduire** les contraintes de masse, mécaniques et thermiques auxquelles sont soumises les précédentes pièces étudiées (répondre par **oui** ou **non** dans le tableau).

Question A-f :

- A partir de la précédente analyse, **choisir** pour chacune des pièces étudiées, le matériau répondant aux fonctionnalités énoncées du produit (compléter le tableau).

Question A-g :

- En **déduire** les procédés envisageables pour chacune des pièces étudiées (compléter le tableau).

**B - Choisir un processus prévisionnel et décrire la morphologie de la pièce brute associée à ce processus.**

L'entreprise envisage deux processus prévisionnels pour l'obtention des masses du vilebrequin (documents techniques DT4 et DT5). Nous vous proposons de comparer ces deux processus en étudiant uniquement l'obtention de l'ébauche (lopin ébauché ou brut forgé). Les données nécessaires à cette étude sont indiquées sur le document ressource 1.2.

**Remarque :** les deux masses du vilebrequin étant similaires, l'étude ne portera que sur une des deux masses (le choix sera identique pour l'autre masse).

**Répondre sur le document réponse 1.2**

Question B-a :

- **Calculer** le volume du lopin ( $\varnothing 90\text{mm}$  Longueur 116mm). En déduire le volume de copeaux supplémentaire à usiner dans le cas du processus n°1.

Question B-b :

- A l'aide des données économiques qui vous sont fournies, **calculer** le coût d'obtention de l'ébauche du processus n°1 (coût matière + coût sciage + coût usinage supplémentaire). **Compléter** le graphique « coût/quantité » pour le processus n°1 (pas d'investissement initial). En **déduire** graphiquement les « zones de rentabilité » de chacun des processus.

Question B-c :

- **Choisir** le processus en appliquant uniquement un critère économique (programme de production prévu : 400 pièces par an sur 5 ans). Vous justifierez votre réponse.

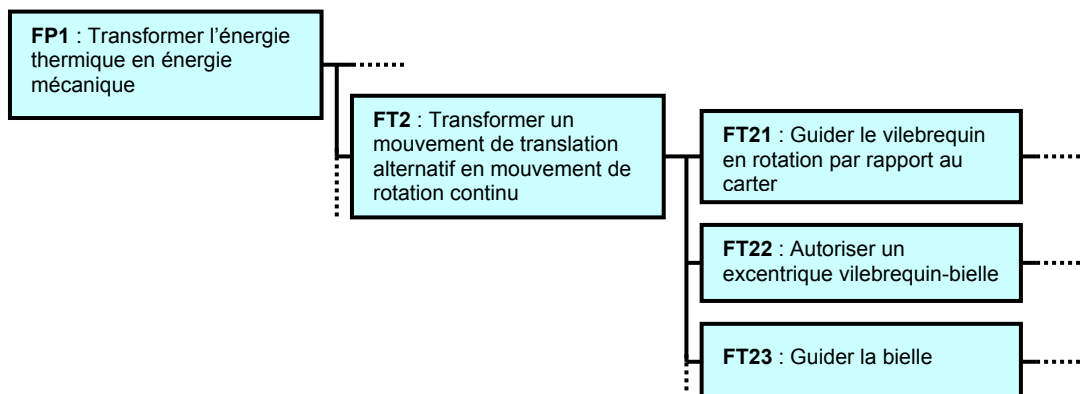
**Répondre sur le document réponse 1.3**

Question B-d :

- Dans le cadre du processus n°2, **dessiner** à main levée la morphologie de la masse forgée en respectant les contraintes liées au procédé d'obtention (document ressource 1.2). Vous mettrez en évidence ces contraintes sur le dessin du brut.

**C - Définir le principe d'outillage d'un procédé d'assemblage et proposer des modifications éventuelles de la géométrie de la pièce au regard du procédé envisagé.**

Extrait du FAST du moteur D160 concernant le vilebrequin :



## SUJET 0

Le vilebrequin est constitué de l'assemblage de trois pièces, à savoir, une masse avant, un maneton et une masse arrière (document technique DT4). Une traduction partielle des exigences fonctionnelles est effectuée au travers des spécifications géométriques indiquées sur le document DT4. Nous vous proposons dans un premier temps d'analyser ces spécifications puis de définir un principe d'outillage d'assemblage permettant de garantir le respect de celles-ci.

### Répondre sur les documents réponse 1.4 et 1.5

Question C-a :

- **Analyser** les deux spécifications géométriques indiquées sur le document technique DT4.

### Répondre sur le document réponse 1.6

Question C-b :

- **Indiquer** sur les dessins de chacune des masses les spécifications (sans les quantifier) « participant » à la géométrie finale (on supposera la géométrie du maneton parfaite).

Les spécifications propres à chacune des masses du vilebrequin ne sont pas suffisantes pour garantir la géométrie finale du vilebrequin. En effet, « l'alignement » des deux axes des  $\varnothing 25$  ne peut être obtenu que lors de l'assemblage. Une recherche de solution nous a permis de retenir deux possibilités pour l'outillage de la phase d'assemblage. La première solution est décrite sur le document ressource 1.3.

### Répondre sur le document réponse 1.7

Question C-c :

- En vous aidant du document ressource 1.3, **compléter** la chronologie des opérations pour la solution n°2 (étapes 2 à 5).

### Répondre sur le document réponse 1.8

Question C-d :

- **Indiquer** pour chacune des deux solutions les ajustements nécessaires entre les différentes pièces lors du montage afin de garantir la géométrie finale du vilebrequin.

Les problèmes dus à l'orientation de la masse avant lors de l'assemblage (4<sup>ème</sup> étape de la solution 1) ont conduit l'entreprise à orienter son choix vers la solution n°2. Cette solution implique une modification de la définition des masses.

### Répondre sur le document réponse 1.6

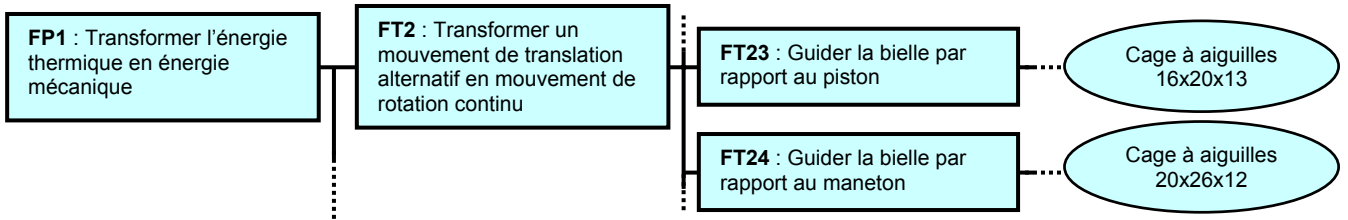
Question C-e :

- **Compléter** les dessins des deux masses en indiquant les spécifications dimensionnelles et géométriques (sans les quantifier) nécessaires pour garantir la géométrie finale du vilebrequin si l'assemblage s'effectue à l'aide de la solution n°2 (vous utiliserez une couleur différente de celle utilisée pour répondre à la question C-b).

# SUJET 0

## D - Définir un processus prévisionnel et décrire la morphologie de la pièce brute associée à ce processus.

Cette activité vise à élaborer un processus prévisionnel de la bielle, puis à proposer une évolution de sa définition en fonction du procédé retenu.

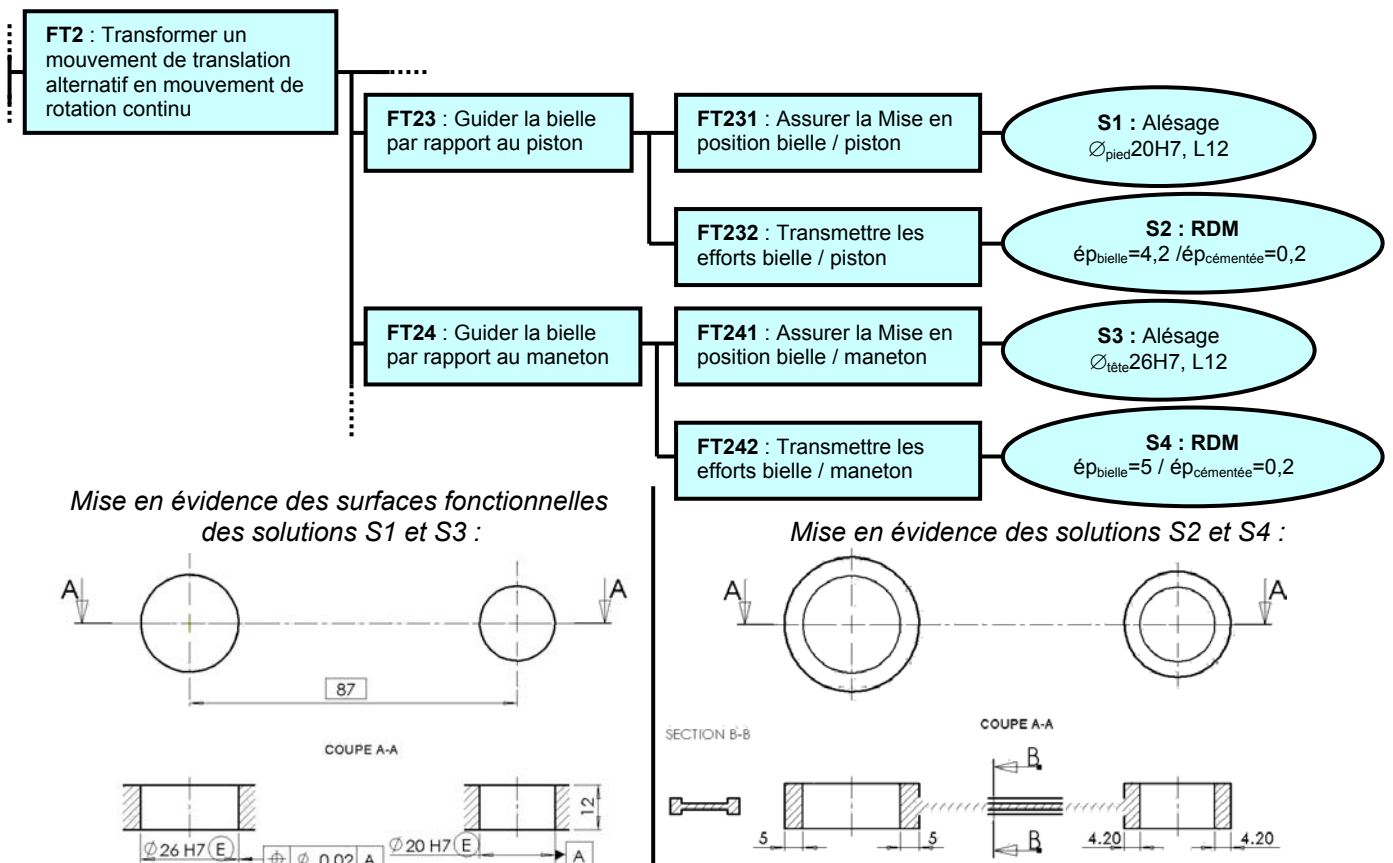


Pour réaliser les guidages en rotation bielle-maneton et bielle-piston, les solutions constructives retenues sont des cages à aiguilles (voir extrait du FAST ci-dessus). Ces dernières nécessitent de réaliser un traitement local des alésages de la bielle.

### Répondre sur le document réponse 1.9

#### Question D-a

→ A partir du processus des masses du vilebrequin (document technique DT5) et des données sur le cuivrage et la cémentation (document ressource 1.4), proposer un processus prévisionnel de la bielle en intégrant les phases de traitement thermique.



### Répondre sur le document réponse 1.10

#### Question D-b :

→ On vous propose en trait double mixte fin les surfaces fonctionnelles (dimensions, épaisseur minimales) de la bielle. Esquisser le brut de la bielle en respectant les contraintes liées au procédé d'obtention. Indiquer clairement les dépouilles, rayons de raccordement et surépaisseurs d'usinage (voir document ressource 1.5).

**E - Définir le principe d'outillage d'un procédé d'usinage.**

Nous avons vu précédemment que les alésages de la bielle nécessitent un traitement de surface pour accueillir les cages à aiguilles. Toutefois, une opération de rectification est indispensable en vue de respecter les contraintes fonctionnelles du bureau d'études.

Nous allons donc étudier les contraintes d'outillage lors de l'usinage des alésages de la bielle. En effet, la contrainte du bureau d'études relative à **l'épaisseur de cémentation après rectification des alésages est de 0,2 mm**. L'objectif est donc de valider l'outillage qui respecte ce critère.



➤ **Etude de la mise en position** : phase d'usinage des alésages et du surfaçage d'un des plans de la bielle.

**Répondre sur le document réponse 1.10**

Question E-a :

➔ Sur le brut de la bielle que vous avez précédemment esquissé, **positionner** les 6 normales réalisant la mise en position isostatique de la bielle en respectant la 1<sup>o</sup> partie de la norme (vous veillerez à indiquer précisément la position des normales par rapport au plan de joint).

➤ **Etude du maintien en position** : même phase que précédemment.

Remarque : pour cette question, nous traitons uniquement **l'usinage des 2 alésages** de la bielle.

La phase d'usinage des alésages nécessite 3 opérations : pointage, perçage et alésage à la barre à aléser. Nous ferons l'hypothèse que lors de la 3<sup>o</sup> opération, les efforts dus à l'usinage sont négligés face aux actions mécaniques du maintien en position.

Données :

- ⇒ Le maintien en position de la bielle est assuré par une bride coulissante Norelem.
- ⇒ On admettra que l'effort tangentiel  $F_t$  ergonomique maximal applicable par l'opérateur sur la clé plate est  $F_t = 150\text{N}$  (voir document ressource 1.6).
- ⇒ Le modèle retenu pour la relation couple de serrage  $C_s$  - effort presseur  $P$  dans un système goujon - écrou est défini sur le document ressource 1.6.

**Répondre sur le document réponse 1.11**

Question E-b :

➔ A partir de l'intensité de  $F_t$ , **calculer** le couple  $C_s$  exercé sur l'écrou en considérant que le point d'application de l'effort tangentiel est placé à la distance  $d = 50\text{ mm}$  de l'axe du goujon (ce couple permettra de régler la clé dynamométrique nécessaire à la maîtrise des conditions de serrage).

Question E-c :

➔ En **déduire** l'intensité de l'effort  $P$  de la rondelle sur la bride dû au serrage de l'écrou.

Question E-d :

➔ **Isoler** la bride afin d'en **déduire** par l'équation des moments l'intensité de l'effort  $F$  de serrage de la bride au centre de la bielle.

Remarque : Quel que soit le résultat trouvé à la question précédente, on prendra (pour la suite du problème) comme intensité d'effort de serrage de la bride sur la bielle :  **$F = 5000\text{ N}$** .

Afin d'étudier le comportement de la géométrie des alésages de la bielle, lors de l'évolution de son processus, nous avons besoin d'un modèle géométrique simplifié à section rectangulaire (« modèle poutre ») qui se comporte comme le modèle réel (la vérification de cette hypothèse sera effectuée à l'aide des résultats d'une simulation mécanique).

## SUJET 0

### Hypothèses :

- ⇒ La bielle admet un plan de symétrie vertical passant par les 2 axes de ses alésages.
- ⇒ Le matériau est supposé homogène, isotrope et suit une loi de comportement linéaire.
- ⇒ Hypothèse de Navier et Bernoulli :
  - au cours de la déformation, les sections droites restent planes ;
  - le plan des fibres neutres ne change pas de longueur.
- ⇒ Hypothèse de Barré de Saint Venant :
  - les résultats ne s'appliquent qu'à une distance suffisamment éloignée des centres des actions mécaniques.

### Données :

- ⇒ L'effort de serrage  $F$  est supposé :
  - appliqué au centre des appuis ;
  - vertical et appartenant au plan de symétrie ;
  - d'une intensité de 5000 N (serrage obtenu par la bride).
- ⇒ La distance entre les appuis est  $L = 54,8$  mm.
- ⇒ Le moment quadratique de la section du modèle poutre est  $I_{(G,z)} = 124$  mm<sup>4</sup>.
- ⇒ L'expression de la déformée  $y$  est défini sur le document ressource 1.7.
- ⇒ Module d'élasticité longitudinal est  $E = 210$  GPa.

### Répondre sur le document réponse 1.12

#### *Question E-e :*

L'objectif est de valider le « modèle poutre » à l'aide du comportement du modèle 3D de la bielle issu d'un logiciel de simulation mécanique (calcul par éléments finis).

➔ A l'aide du document ressource 1.7 :

- **Définir** la sollicitation à laquelle la bielle est soumise ;
- **Choisir** la formule permettant de calculer la déformée maximale du « modèle poutre » ;
- **Calculer** la valeur de la déformée maximale du « modèle poutre » ;
- **Indiquer** dans le tableau la valeur de la déformée maximale du modèle 3D (document ressource 1.7) ;
- **Conclure** sur la validité du « modèle poutre ».

#### *Question E-f :*

L'objectif est d'identifier le comportement géométrique des alésages de la bielle au cours de l'évolution des différentes phases de fabrication. Le précédent modèle nous permet d'établir l'équation de la tangente. On vous propose sur le document ressource 1.7, la courbe représentative de la tangente (pente) de la fibre neutre de la bielle.

➔ **Relever** la valeur de la pente  $\alpha$  aux points  $A_1$  et  $A_2$  et **représenter** ces angles sur la déformée (amplifiée) du modèle 3D.

#### *Question E-g :*

➔ **Reporter** sur le « modèle poutre » aux points  $P_1$  et  $P_2$  les axes du brut (en bleu) dans la position « repos » (pas de sollicitation mécanique).



## SUJET 0

Lors du serrage, la bielle se déforme. On vous propose une déformée amplifiée du modèle poutre (sur le document réponse 1.12).

Question E-h :

- **Tracer** sur le « modèle poutre » :
- le vecteur modélisant l'effort de serrage ;
  - les axes du brut (en bleu) aux points  $P_1$  et  $P_2$  ;
  - les axes d'usinage des alésages (en rouge) aux points  $P_1$  et  $P_2$  ;
  - l'angle  $\alpha$  entre les axes ci-dessus ;
  - les alésages usinés (en rouge).

L'usinage des alésages est suivi d'une cémentation (document ressource 1.4).

Question E-i :

- **Tracer** sur le « modèle poutre » :
- les axes d'usinage des alésages aux points  $P_1$  et  $P_2$  (en rouge) ;
  - les alésages usinés (en rouge) ;
  - la profondeur de cémentation sur chacun des alésages (en vert).

La dernière phase d'usinage consiste en une rectification des alésages sur rectifieuse CN verticale à plateau magnétique. On vous propose sur le document réponse 1.13 une vue « zoomée » de la mise en situation d'un des deux alésages.



Hypothèse :

- ⇒ Les actions mécaniques exercées sur la bielle lors de la phase de rectification sont négligées.

**Répondre sur le document réponse 1.13**

Question E-j :

- **Préciser** le nom de chacun des 2 axes.  
**Positionner** l'angle  $\alpha$  entre les 2 axes.  
**Exprimer**  $\alpha$  en fonction de  $x$ . (relation 1)  
**Exprimer**  $x$  en fonction des cotes linéaires. (relation 2)  
A partir des précédentes relations (1 & 2), **calculer** l'angle  $\alpha_{MAX}$ .



Question E-k:

- **Comparer** l'angle  $\alpha_{MAX}$  avec l'angle  $\alpha$  déterminé à la question E-f. **Conclure** quant à la validité du maintien en position proposé (Rappel : la contrainte du bureau d'études est de conserver une épaisseur de cémentation après rectification des alésages de 0,2 mm).

**Proposer** une autre solution de maintien en position limitant le phénomène de déformation de la bielle.