Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
formav.co/explorer

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

FORGE

ÉPREUVE E6.1 (UNITÉ U61) : PROJET COLLABORATIF D'OPTIMISATION D'UN PRODUIT ET D'UN PROCESSUS

SESSION 2026

Durée : 4 heures

SPÉCIALITÉ / UNITÉ	COEFF
FORGE	3

Moyens de calculs et matériel autorisés :

L'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé. L'usage de calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Poste informatique et logiciel de CAO mis à disposition, dossier numérique de projet fourni avec le sujet, documents techniques DT 1 à DT 3 et documents réponse DR 1 et DR 2. Le candidat remet les fichiers numériques demandés et les documents réponse complétés. Aucun document personnel n'est autorisé.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.

Les documents réponses en fin de sujet sont à rendre avec la copie.

DOSSIER SUJET

MISE EN SITUATION PROFESSIONNELLE ET CAHIER DES CHARGES : FORGES DE LA LOIRE, ATELIER DE FORGE ET D'USINAGE, SAINT-ÉTIENNE (LOIRE)

Les Forges de la Loire réalisent pour le client MecaTrans Loire un lot de 12 000 leviers de renvoi destinés à un équipement industriel. Le composant est obtenu par forgeage à chaud en matrice, puis usiné. Le client demande une réduction de la masse et du coût matière sans dégrader la résistance mécanique, l'assemblabilité ni la faisabilité industrielle.

Vous intervenez comme membre du groupe projet. Vous devez analyser le dossier, proposer et justifier une évolution du produit et de son processus, puis modifier la maquette numérique fournie. L'examinateur représente les autres membres du groupe projet : vous lui présentez vos choix, recueillez ses observations et consignez les décisions retenues. Les fichiers de départ sont disponibles sur le poste informatique sous les noms **Levier_R0.step** et **Simulation_R0.pdf**.

Le produit fini doit respecter les cotes fonctionnelles du DT 1. Les résultats de simulation de la solution proposée doivent rester dans les limites fixées au DT 2. Toute modification de la géométrie fonctionnelle doit être justifiée. Les calculs sont présentés avec leurs unités et les hypothèses retenues.

PARTIE 1 : Analyse fonctionnelle, réglementaire et démarche de projet (4 points)

Analyser le besoin, les exigences et les critères d'optimisation

À partir du contexte et des DT 1 à DT 3, établissez une synthèse exploitable par le groupe projet. Distinguez les exigences fonctionnelles non modifiables des paramètres pouvant être optimisés. Les exigences normatives citées au DT 3 sont à prendre en compte dans le périmètre indiqué par le dossier.

Exigences et critères du projet

Exigence ou critère	Valeur ou limite	Caractère : impératif ou optimisable
Masse maximale de la pièce finie	1,35 kg	.....
Diamètre du trou fonctionnel	16 H9 mm	.....
Résistance minimale après traitement	900 MPa	.....
Coût matière du lopin	À réduire par rapport à R0	.....

Données issues du cahier des charges client et des documents techniques.

1.1 (1,5 point) Formulez la fonction principale du levier et indiquez deux exigences fonctionnelles qui doivent rester inchangées. Pour chacune, précisez la donnée du dossier qui permet de la vérifier.

1.2 (1,5 point) Retenez trois critères d'optimisation pertinents parmi la masse, le coût matière, le rendement matière, la faisabilité de forge et l'usinabilité. Pour chacun, donnez un indicateur mesurable et une valeur cible ou une limite issue du dossier. Justifiez vos choix.

1.3 (1 point) Proposez une démarche de projet en quatre jalons au maximum, en indiquant pour chaque jalon un livrable et un rôle possible d'un membre du groupe. Faites apparaître un temps d'échange avec l'examinateur permettant de confronter et d'ajuster les choix techniques.

PARTIE 2 : Étude technologique, choix du matériau et calculs (6 points)

Évaluer la solution produit-processus et quantifier ses résultats

Comparez la situation de référence R0 à la proposition R1. Utilisez les données de masse et de simulation des DT 1 et DT 2, ainsi que les données économiques du DT 3. Les résultats de calcul seront arrondis au centième pour les masses et au centime pour les coûts, sauf indication contraire.

Comparaison des solutions R0 et R1

Donnée	R0	R1
Masse de la pièce finie	1,42 kg	1,28 kg
Masse du lopin débité	2,06 kg	1,74 kg
Masse du brut forgé avant usinage	1,68 kg	1,52 kg
Effort maximal simulé	2,35 MN	2,42 MN

Masses issues des maquettes numériques et des simulations fournies.

2.1 (1,5 point) À partir du diamètre et de la longueur du lopin R1 indiqués au DT 2, calculez son volume cylindrique, puis sa masse théorique avec la masse volumique fournie. Comparez le résultat à la masse de lopin annoncée pour R1 et indiquez une cause possible d'écart. Utilisez les unités cohérentes et la relation de volume donnée dans le dossier.

2.2 (1,5 point) Calculez le rendement matière de forge pour R0 et R1, défini par la masse du brut forgé divisée par la masse du lopin. Calculez également le rendement global pièce finie sur lopin pour chaque solution. Présentez les résultats en pourcentage et concluez sur l'évolution du rendement.

2.3 (1,5 point) Avec le prix matière de 2,80 € par kilogramme, calculez le coût matière d'un lopin R0 et d'un lopin R1, puis l'économie unitaire et l'économie sur le lot annuel de 12 000 pièces. Calculez aussi la masse de chute totale du lot pour chaque solution à partir de la différence entre masse du lopin et masse de la pièce finie.

2.4 (1,5 point) Vérifiez la proposition R1 au regard de la masse maximale, de la résistance minimale, de l'effort maximal admissible de la presse et de la condition de remplissage indiqués au DT 2. Calculez le pourcentage de réduction de masse finie par rapport à R0. Concluez en distinguant les critères satisfaits et ceux qui nécessitent une validation complémentaire.

PARTIE 3 : Préparation de fabrication et évolution de la maquette numérique (7 points)

Construire une proposition de processus et modifier le modèle numérique

Préparez une proposition de fabrication de la solution R1 à partir des données des DT 1 à DT 3. La gamme doit être cohérente avec le forgeage à chaud en matrice, le détourage, le traitement thermique et l'usinage du trou fonctionnel. Sur le poste fourni, ouvrez la maquette de référence, réalisez les modifications retenues, vérifiez les cotes fonctionnelles et enregistrez le fichier natif sous le nom **U61_Candidat_R1**, accompagné d'une exportation neutre au format prévu sur le poste.

Données de coupe pour l'usinage du trou

Paramètre	Valeur
Diamètre du foret	16 mm
Vitesse de coupe recommandée	35 m/min
Avance par tour	0,18 mm/tr
Longueur de perçage avec approche	31 mm

Paramètres de perçage du DT 3.

3.1 (2 points) Complétez le DR 1 en proposant une gamme opératoire de R1 comprenant au minimum le débit du lopin, le chauffage, le forgeage, le détourage, le traitement thermique, l'usinage du trou et le contrôle final. Pour chaque opération, indiquez un moyen ou équipement, un contrôle associé et un point de vigilance de fabrication.

3.2 (1,5 point) Calculez la vitesse de rotation de la broche pour le perçage du trou de diamètre 16 mm à la vitesse de coupe prescrite. Choisissez une vitesse de rotation machine parmi 630, 700 ou 800 tr/min et justifiez le choix. Calculez ensuite le temps théorique de perçage pour une longueur de 31 mm à l'avance prescrite.

3.3 (2,5 points) Modifiez la maquette numérique afin de réaliser une proposition R1 conforme au cahier des charges. Conservez les surfaces et cotes fonctionnelles du DT 1. Supprimez ou réduisez la matière dans les zones indiquées au DT 2, tout en respectant les rayons minimaux et dépouilles du DT 3. Remettez le fichier natif et l'export neutre, puis indiquez les modifications réalisées et les contrôles numériques effectués dans le DR 2.

3.4 (1 point) À partir des résultats de simulation R1, indiquez si le remplissage est accepté et si l'effort reste compatible avec la presse. Citez un risque technique restant à vérifier lors de la validation industrielle et proposez un moyen de contrôle ou de simulation adapté.

PARTIE 4 : Prévention et sécurité au poste de forge (3 points)

Identifier les risques professionnels et proposer des mesures de prévention

Le processus comprend la manutention de lopins, le chauffage, le forgeage en presse, le détourage et l'usinage. Les mesures proposées doivent respecter les consignes de sécurité du site, les notices des

équipements et les principes généraux de prévention du Code du travail. Les équipements de protection individuelle complètent les protections collectives et ne s'y substituent pas.

Situations de travail à analyser

Situation	Danger principal	Mesure de prévention à proposer
Transfert d'un lopin chaud vers la presse	Brûlure et projection	.....
Forgeage en presse à matrice	Écrasement et accès à la zone dangereuse	.....
Perçage du trou fonctionnel	Entraînement par l'outil et projection de copeaux	.....

Extrait du repérage des situations dangereuses de l'atelier.

4.1 (1,5 point) Complétez le tableau du DR 2 pour les trois situations. Pour chacune, indiquez le dommage possible et une mesure de prévention prioritaire, en privilégiant la suppression ou la réduction du risque à la source et les protections collectives.

4.2 (1 point) Indiquez les vérifications à effectuer avant la mise en marche de la presse et du poste de perçage. Citez une consigne de conduite à tenir en cas de bourrage ou d'anomalie, sans intervenir dans une zone dangereuse lorsque l'équipement est en fonctionnement.

4.3 (0,5 point) Citez deux équipements de protection individuelle adaptés aux opérations décrites et associez chacun à un risque précis.

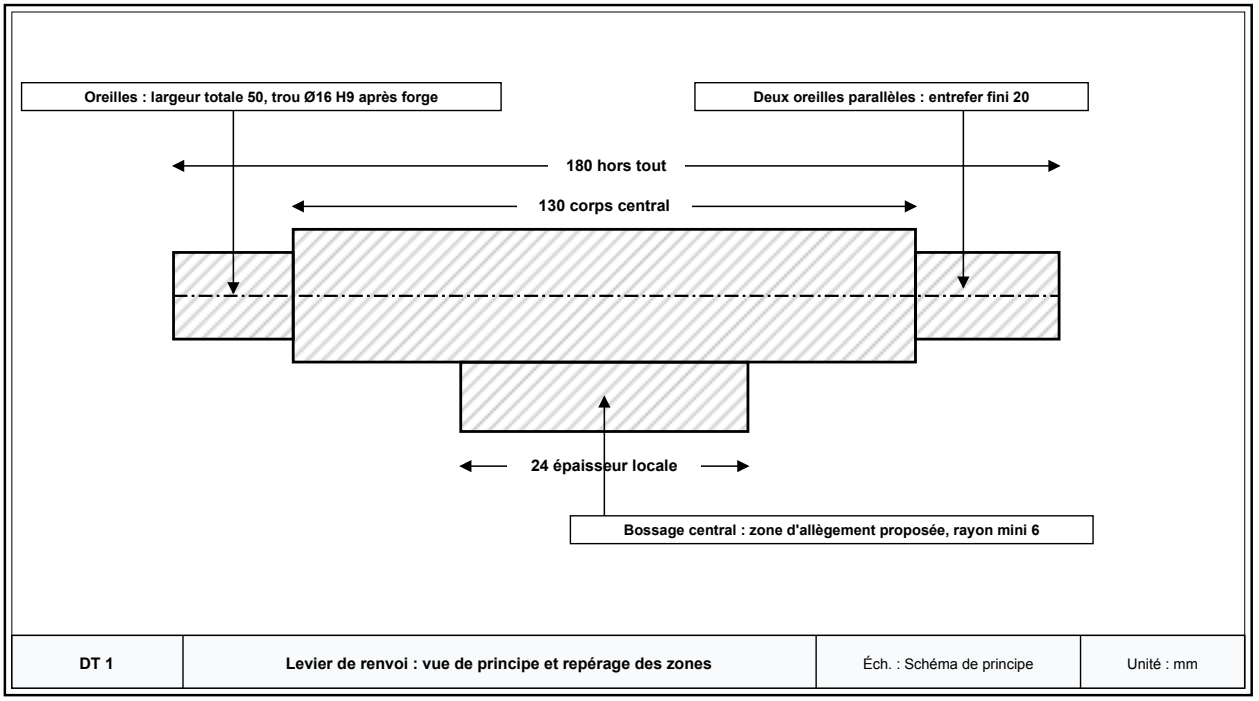
DOSSIER TECHNIQUE ET RESSOURCES

Documents ressources nécessaires à la résolution du sujet

DT 1 : DÉFINITION FONCTIONNELLE ET GÉOMÉTRIQUE DU LEVIER DE RENVOI

Le composant est un levier de renvoi forgé en acier, composé d'un corps central et de deux oreilles parallèles percées après forgeage. Les deux oreilles reçoivent un axe de liaison. Les surfaces fonctionnelles à préserver sont l'alésage de diamètre 16 H9, les faces internes de la fourche et la face de référence de montage.

Les valeurs géométriques ci-dessous définissent le produit fini. Le schéma est une représentation de principe, non contractuelle pour les proportions graphiques. Les cotes écrites prévalent sur le schéma. Le plan de joint est proposé dans le plan médian de la pièce. Les cotes fonctionnelles ne peuvent être modifiées sans accord du client.



Pièce finie, représentation schématique cotée. Les cotes écrites dans les repères font foi.

Exigences géométriques et fonctionnelles

Caractéristique	Exigence	Contrôle prévu
Longueur hors tout	180 ± 0,5 mm	Contrôle dimensionnel
Largeur totale des oreilles	50 ± 0,2 mm	Pied à coulisse ou moyen adapté
Entrefer entre oreilles	20 +0,2 / 0 mm	Jauge ou contrôle dimensionnel
Trou d'axe	Ø16 H9 mm, réalisé après forge	Tampon ou alésomètre adapté
Masse maximale pièce finie	1,35 kg	Pesée
Résistance minimale après traitement	900 MPa	Certificat matière et contrôle défini au plan qualité

Valeurs contractuelles du produit fini.

DT 2 : COMPARAISON DES SIMULATIONS ET PARAMÈTRES DE DÉBIT

Les simulations numériques ont été réalisées avec les mêmes hypothèses de frottement et la même température de forge pour R0 et R1. Elles constituent des résultats de prévalidation et ne remplacent pas la validation sur presse ni le contrôle de série.

Pour le calcul du lopin cylindrique, utiliser le volume d'un cylindre :

$V = \pi \frac{D^2}{4} L$. La masse est calculée par $m = \rho V$. La masse volumique de l'acier est $\rho = 7{,}85\ \mathrm{kg/dm^3}$. Pour convertir un volume exprimé en $\mathrm{mm^3}$ en $\mathrm{dm^3}$, diviser par $1\,000\,000$.

Pourcentage de réduction de masse : $r = \frac{m_{R0} - m_{R1}}{m_{R0}} \times 100$. Rendement matière : $\eta = \frac{m_{sortie}}{m_{entrée}} \times 100$.

Données numériques et limites de validation

Indicateur	R0	R1	Critère d'acceptation
Masse pièce finie	1,42 kg	1,28 kg	Inférieure ou égale à 1,35 kg
Masse lopin débité	2,06 kg	1,74 kg	Minimiser sans défaut de remplissage
Masse brut forgé avant usinage	1,68 kg	1,52 kg	Donnée de simulation
Effort maximal simulé	2,35 MN	2,42 MN	Effort presse admissible : 2,70 MN
Remplissage de la matrice	Complet	Complet	Remplissage complet exigé
Résistance minimale estimée après traitement	920 MPa	905 MPa	Au moins 900 MPa

Résultats calculés transmis par le bureau méthodes.

Dimensions de débit des lopins

Solution	Diamètre D	Longueur L	Masse de lopin retenue au dossier
R0	45 mm	165 mm	2,06 kg
R1	42 mm	160 mm	1,74 kg

Lopins cylindriques débités dans une barre d'acier.

DT 3 : MATÉRIAU, RÈGLES DE CONCEPTION, PARAMÈTRES D'USINAGE ET PRÉVENTION

Matériau retenu : acier 42CrMo4, désignation selon EN 10083-3, approvisionné sous forme de barre pour forgeage à chaud. La nuance est retenue sous réserve de vérification du certificat matière, de l'état de livraison, du traitement thermique et des propriétés mécaniques exigées au cahier des charges.

Références à considérer selon leur domaine d'application et les documents contractuels : EN 10083-3 pour les aciers alliés pour trempe et revenu ; EN 10243-1 pour les tolérances des pièces forgées en matrice en acier ; ISO 2768-1 uniquement lorsque les tolérances générales sont appelées par le plan ; ISO 6508-1 pour les essais de dureté Rockwell si ce contrôle est prescrit au plan qualité. Les exigences du plan client et les prescriptions de sécurité des équipements restent applicables.

Règles géométriques retenues par le bureau méthodes pour cette étude : dépouille minimale de 5° sur les faces susceptibles de rester bloquées dans la matrice ; rayon intérieur minimal de 6 mm dans les zones allégées ; absence de contre-dépouille non prévue ; surépaisseur d'usinage de 2 mm sur les surfaces usinées ; plan de joint au plan médian indiqué au DT 1. Toute dérogation doit être justifiée et validée par le responsable méthodes.

Pour le perçage, utiliser $V_c = 35\ \mathrm{m/min}$, $f = 0{,}18\ \mathrm{mm/tr}$, et $n = \frac{1000 V_c}{\pi D}$. Le temps théorique de coupe est $t = \frac{L}{fn}$, avec L en mm et n en tr/min ; le résultat obtenu est en minutes.

Le coût d'achat utilisé pour l'étude est de 2,80 € par kilogramme de lopin. L'étude de coût porte uniquement sur la matière débitée et n'inclut pas l'énergie, la main-d'œuvre, l'outillage, le traitement thermique ni les coûts de contrôle.

Prévention : appliquer les principes généraux de prévention du Code du travail, les consignes du site et les notices des équipements. Avant toute intervention de réglage, débourrage ou maintenance, appliquer la procédure de consignation de l'entreprise. Utiliser les protecteurs, dispositifs de commande et moyens de manutention prévus. Le port d'équipements de protection adaptés est déterminé par l'évaluation des risques du poste.

Paramètres de conception et de fabrication

Paramètre	Valeur ou règle	Application
Nuance	42CrMo4 selon EN 10083-3	Lopin et pièce forgée
Tolérances de forge	EN 10243-1 selon classe et dimensions du plan	Brut forgé
Dépouille minimale	5°	Faces démoulées de la matrice
Rayon intérieur minimal	6 mm	Zones d'allègement
Surépaisseur d'usinage	2 mm	Surfaces usinées
Prix matière	2,80 €/kg	Calcul du coût matière

Valeurs retenues pour l'étude du projet.

Vérifications de sécurité à intégrer à la préparation

Opération	Énergie ou danger	Exemples de mesures à examiner
Manutention et transfert du lopin chaud	Charge, chaleur, projections	Pince adaptée, trajet dégagé, écran et tenue de protection
Forgeage en presse	Écrasement, projection, chaleur	Protecteur et commande fonctionnels, accès interdit à la zone dangereuse
Perçage	Rotation, copeaux, arêtes vives	Pièce bridée, protecteur en place, copeaux retirés avec un outil adapté

Repères pour l'analyse des risques de l'atelier.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 1 : Gamme opératoire et calculs de fabrication — **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter les cases et remettre ce document avec les livrables numériques. La gamme doit correspondre à la solution R1 et distinguer les opérations de forge, de traitement et d'usinage.

Gamme opératoire proposée pour R1

N°	Opération	Moyen ou équipement	Contrôle associé	Point de vigilance
10	Débit du lopin	.....	.....	.....
20	Chauffage du lopin	.....	.....	.....
30	Forgeage en matrice	.....	.....	.....
40	Détourage et ébavurage	.....	.....	.....
50	Traitement thermique	.....	.....	.....
60	Usinage du trou fonctionnel	.....	.....	.....
70	Contrôle final et identification	.....	.....	.....

Calculs de rendement, de coût et de perçage

Grandeur demandée	Relation ou démarche	Résultat avec unité
Volume théorique du lopin R1	.....	.....
Masse théorique du lopin R1	.....	.....
Rendement forge R0 puis R1	.....	.....
Rendement global R0 puis R1	.....	.....
Coût matière unitaire R0 puis R1	.....	.....
Économie matière sur 12 000 pièces	.....	.....
Vitesse de rotation choisie	.....	.....
Temps théorique de perçage	.....	.....

Cadre réservé aux justifications, calculs complémentaires ou schémas du candidat :

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 2 : Compte rendu de modification de la maquette et analyse de sécurité

À RENDRE AVEC LA COPIE

Compléter les tableaux. Indiquer les noms des fichiers numériques remis. Les réponses doivent permettre au groupe projet de comprendre les modifications proposées, les vérifications réalisées et les mesures de prévention retenues.

Traçabilité de la proposition de conception R1

Zone ou caractéristique	Modification réalisée ou proposée	Cote ou règle vérifiée	Résultat de vérification
Bossage central	.....	Rayon intérieur minimal 6 mm	.....
Faces démoulées	.....	Dépouille minimale 5°	.....
Surfaces fonctionnelles	.....	Cotes du DT 1 conservées	.....
Maquette native et export neutre	.....	Fichiers remis et ouvrables	.....

Analyse des risques et mesures de prévention

Situation	Dommage possible	Mesure prioritaire de prévention	EPI adapté et risque associé
Transfert d'un lopin chaud vers la presse	.....	.....	.....
Forgeage en presse à matrice	.....	.....	.....
Perçage du trou fonctionnel	.....	.....	.....

Cadre réservé aux justifications, calculs complémentaires ou schémas du candidat :

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.