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

TRAITEMENTS DES MATÉRIAUX

ÉPREUVE E6 : ÉPREUVE PROFESSIONNELLE DE SYNTHÈSE

SESSION 2026

Durée : 4 heures

SPÉCIALITÉ / UNITÉ	COEFF
TRAITEMENTS DES MATÉRIAUX	5

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.

Aucun document ou matériel autorisé en dehors de ceux fournis avec le sujet.

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

Ce sujet comporte 9 pages numérotées de 1/9 à 9/9.

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

DOSSIER SUJET

MISE EN SITUATION PROFESSIONNELLE ET CAHIER DES CHARGES : THERMOTECH BOURGOGNE, ATELIER DE TRAITEMENTS THERMIQUES, LE CREUSOT (SAÔNE-ET-LOIRE)

L'entreprise ThermoTech Bourgogne réalise, pour le client Mécapompes Industries, le traitement thermique d'un lot de 48 pignons d'entraînement destinés à un réducteur industriel. Les pièces sont usinées dans un acier 16MnCr5 et doivent recevoir une couche cémentée trempée, tout en conservant un cœur tenace.

Le cahier des charges impose une dureté superficielle de 60 à 64 HRC, une profondeur conventionnelle de durcissement de 0,70 à 1,00 mm selon le critère fourni dans le dossier, et une dureté à cœur minimale de 30 HRC. Les surfaces repérées au plan doivent rester exemptes de décarburation visible et de dommages de trempe. L'opérateur doit établir la charge, proposer un cycle cohérent à partir des données fournies, exploiter les résultats de contrôle et préparer la traçabilité du lot.

Le barème est réparti sur 20 points. Les réponses doivent être justifiées par les données du sujet et présenter les unités. Toute hypothèse éventuelle doit être explicitée.

PARTIE 1 : Analyse fonctionnelle et exigences de conformité (4 points)

Interprétation du besoin, du plan et des exigences de contrôle

À l'aide du cahier des charges et des documents DT 1 à DT 3, caractériser la fonction du traitement et les exigences applicables au lot.

1.1 (1,5 point) Présenter la fonction attendue de la couche cémentée et celle du cœur de la pièce en service. Relier chaque fonction à au moins une exigence chiffrée du cahier des charges.

1.2 (1,5 point) À partir du DT 1, relever les dimensions caractéristiques qui influencent la mise en charge et le traitement. Indiquer la zone de la pièce pour laquelle la profondeur de couche est spécifiée et expliquer pourquoi les surfaces fonctionnelles repérées doivent être préservées.

1.3 (1 point) Associer les contrôles de dureté et de profondeur de couche aux références normatives indiquées au DT 3. Préciser la grandeur mesurée par chacun de ces contrôles.

PARTIE 2 : Étude technologique, calculs de charge et exploitation des contrôles (6 points)

Dimensionnement de la charge, consommation de trempe et interprétation des résultats

Le lot comporte 48 pièces. La masse unitaire et la géométrie utile sont données au DT 1. La masse du panier de traitement est de 22,0 kg. Les données de contrôle du lot après traitement sont fournies au DT 3.

Données de contrôle du profil de dureté

Profondeur sous surface (mm)	Dureté mesurée (HV)	Critère fourni
0,10	690	Profil de dureté
0,30	650	Profil de dureté
0,50	610	Profil de dureté
0,70	570	Profil de dureté
0,90	530	Profil de dureté
1,10	490	Profil de dureté

Résultats moyens mesurés sur une coupe métallographique d'une pièce témoin du lot.

2.1 (1,5 point) Calculer la masse totale des pièces, puis la masse de la charge comprenant le panier. Vérifier que cette charge respecte la capacité maximale du four indiquée au DT 2.

2.2 (1 point) Calculer la surface totale de référence du lot à partir de la surface utile unitaire fournie au DT 1. Donner le résultat en m² et préciser une limite de cette estimation pour un pignon denté.

2.3 (1 point) Déterminer le volume minimal d'huile nécessaire pour la trempe de cette charge à partir du ratio fourni au DT 2. Vérifier si la cuve disponible convient.

2.4 (2,5 points) À partir du profil de dureté du tableau, estimer par interpolation linéaire la profondeur à laquelle la dureté atteint 550 HV. Comparer cette profondeur à la plage imposée au cahier des charges. Conclure sur la conformité de la profondeur de couche du témoin.

PARTIE 3 : Préparation de fabrication et protocole opératoire (6 points)

Établissement d'une gamme de traitement et calculs de production

Le four proposé est un four de cémentation gazeuse suivi d'une trempe à l'huile et d'un revenu basse température. Les paramètres de référence, les consommations et les tarifs internes sont fournis au DT 2. Les calculs demandés portent sur le lot défini dans le contexte.

3.1 (2 points) Établir l'ordre des opérations de la gamme, depuis la réception des pièces jusqu'à la libération du lot. Pour chaque opération, indiquer au moins un paramètre ou une précaution pertinente parmi les données des DT 1 et DT 2.

3.2 (1,5 point) Calculer l'énergie thermique théorique nécessaire pour porter la charge de 20 °C à 900 °C, en utilisant la masse de charge calculée à la question 2.1 et les données thermiques du DT 2. Calculer ensuite l'énergie à fournir en tenant compte du rendement indiqué. Exprimer les résultats en MJ.

3.3 (1,5 point) Calculer le volume de gaz de cémentation consommé pendant le maintien prévu au DT 2, puis son coût pour le lot. Utiliser la masse totale des pièces, le débit spécifique, la durée de maintien et le tarif fournis. Présenter les unités à chaque étape.

3.4 (1 point) Renseigner le document réponse DR 1 : calculer la quantité de pièces à charger par panier si la disposition prescrite au DT 2 est appliquée, puis indiquer le nombre de paniers requis pour traiter le lot complet. Justifier que la capacité massique du four demeure respectée.

PARTIE 4 : Prévention, sécurité et traçabilité (4 points)

Maîtrise des risques et traitement des écarts

Avant la production, le responsable d'atelier demande une analyse des risques associés à la cémentation, à la trempe à l'huile et aux contrôles. Les éléments relatifs à l'installation et aux moyens de prévention figurent au DT 3.

4.1 (2 points) Identifier deux risques professionnels distincts liés aux opérations de la gamme. Pour chacun, proposer une mesure de prévention adaptée aux équipements et aux procédures décrits au DT 3.

4.2 (1 point) Indiquer deux dispositions à appliquer pour limiter les impacts environnementaux ou les risques de pollution liés aux effluents, aux huiles ou aux déchets de l'atelier.

4.3 (1 point) Un contrôle révèle une dureté superficielle de 59 HRC sur une pièce témoin, alors que la plage spécifiée est de 60 à 64 HRC. Indiquer la décision immédiate concernant le lot et citer les informations à consigner pour assurer sa traçabilité.

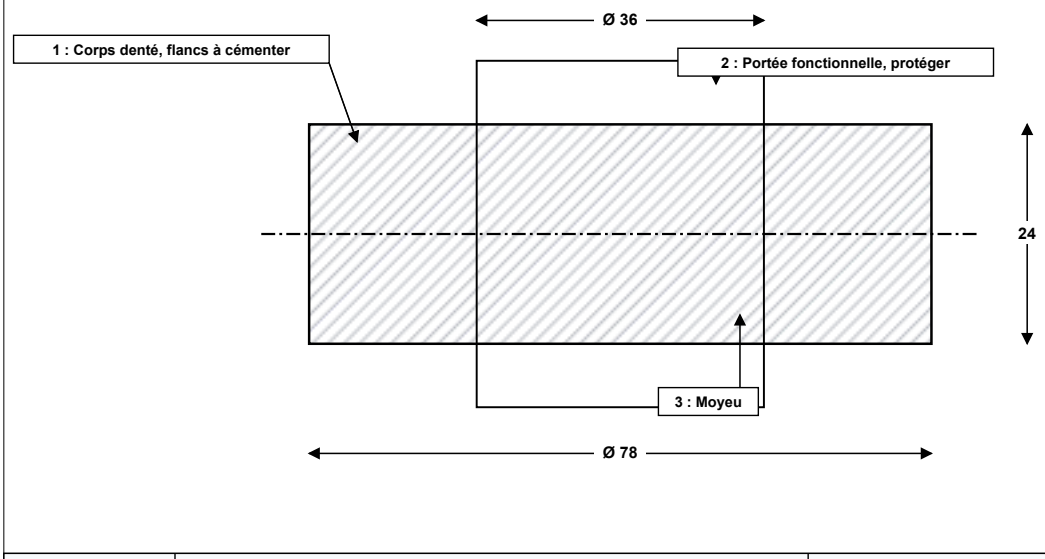
DOSSIER TECHNIQUE ET RESSOURCES

Documents ressources nécessaires à la résolution du sujet

DT 1 : PLAN COTÉ SIMPLIFIÉ ET CARACTÉRISTIQUES DU PIGNON

Pièce usinée avant traitement : pignon droit à moyeu cylindrique, en acier 16MnCr5. Les cotes ci-dessous sont données en millimètres. La surface utile unitaire retenue pour le calcul de charge est une estimation de 0,018 m² par pièce ; elle ne remplace pas un calcul géométrique détaillé de toutes les dents.

Masse unitaire : 0,420 kg. La profondeur de couche prescrite s'applique aux flancs des dents, mesurée perpendiculairement à la surface. Les surfaces repérées 2 sont des portées fonctionnelles qui doivent être protégées contre les marques de manutention et les défauts de trempe.



DT 1	Vue de principe du pignon et repérage des zones fonctionnelles	Éch. : Schéma sans échelle	Unité : mm

Caractéristiques de la pièce et exigences client

Caractéristique	Valeur	Unité ou remarque
Matière	16MnCr5	Acier de cémentation
Masse unitaire	0,420	kg
Surface utile estimée unitaire	0,018	m²
Dureté superficielle après traitement	60 à 64	HRC
Profondeur conventionnelle de couche	0,70 à 1,00	mm, critère 550 HV fourni au DT 3
Dureté minimale à cœur	30	HRC

Données contractuelles applicables au lot.

DT 2 : FICHE PROCÉDÉ, CAPACITÉ DE L'INSTALLATION ET DONNÉES DE CALCUL

Procédé de référence proposé par l'atelier : cémentation gazeuse à 900 °C, trempe à l'huile, puis revenu basse température. Le cycle ci-dessous est une gamme de référence à valider par le responsable de traitement selon la charge réelle et les instructions de l'installation.

Le temps de chauffe estimatif de l'installation est de 1,8 min par millimètre de section maximale, auquel s'ajoutent 35 min de stabilisation. Pour la pièce considérée, la section maximale est de 24 mm. Le maintien de cémentation de référence est de 2,5 h. La durée de maintien ne comprend pas la montée en température.

Pour les calculs énergétiques, prendre une capacité thermique massique moyenne de 0,60 $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ et un rendement thermique global de 0,65. Pour la consommation gazeuse, prendre 0,12 Nm^3 par kilogramme de pièces et par heure de maintien. Tarif interne du gaz : 0,42 € par Nm^3. Pour le dimensionnement de la trempe, le volume minimal d'huile est de 1,2 L par kilogramme de charge. Capacité de la cuve : 70 L. Capacité massique maximale du four : 65 kg, panier compris.

Règle de chargement : disposer au maximum 12 pièces par panier, sans contact entre les dents et sans empilage des pièces. La masse du panier est de 22,0 kg par panier chargé dans le four. Pour le calcul de masse totale, considérer un seul panier si la charge tient sur un panier, sinon compter un panier par fraction de 12 pièces.

Paramètres de l'installation et constantes de calcul

Paramètre	Valeur	Unité
Température de cémentation	900	°C
Temps de chauffe estimatif	1,8 × section maximale + 35	min, section en mm
Maintien de cémentation	2,5	h
Capacité thermique massique moyenne	0,60	$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Rendement thermique global	0,65	sans unité
Consommation spécifique de gaz	0,12	$Nm^3 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$
Tarif interne du gaz	0,42	$€ \cdot Nm^{-3}$
Volume minimal d'huile	1,2	$L \cdot kg^{-1}$ de charge
Capacité de la cuve d'huile	70	L
Capacité maximale du four	65	kg, panier compris
Pièces maximales par panier	12	pièces
Masse d'un panier	22,0	kg

Valeurs à utiliser pour les calculs demandés.

DT 3 : CONTRÔLES, CRITÈRES D'INTERPRÉTATION, SÉCURITÉ ET ENVIRONNEMENT

Contrôles à réaliser sur une pièce témoin représentative du lot : dureté superficielle, dureté à cœur et profil de dureté sur coupe. Pour cet exercice, la profondeur conventionnelle est définie comme la distance

depuis la surface jusqu'au point où la dureté atteint 550 HV. La valeur est estimée par interpolation linéaire entre deux mesures encadrant 550 HV.

Références de méthode à mobiliser : NF EN ISO 6508-1 pour l'essai Rockwell, échelle C ; NF EN ISO 6507-1 pour l'essai Vickers ; ISO 2639 pour la détermination de la profondeur conventionnelle des couches cémentées. Les valeurs limites applicables au lot sont celles du cahier des charges et du DT 1.

Risques et moyens disponibles : brûlure et incendie lors de la manipulation de pièces chaudes et de l'huile de trempe ; équipements de manutention adaptés, écran thermique, gants de protection thermique, lunettes et procédure de transfert immédiat du panier. Risque lié aux atmosphères de traitement : installation surveillée, détection et asservissement de sécurité, ventilation et consignes d'évacuation affichées. Les interventions de maintenance sont réservées au personnel habilité, après consignation des énergies et mise en sécurité de l'installation.

Gestion environnementale : les huiles usagées et absorbants souillés sont collectés dans des contenants fermés, identifiés et stockés sur rétention, puis remis à une filière autorisée. Tout déversement est contenu immédiatement selon la procédure du site. Les paramètres de cycle, l'identification du four, le numéro de lot, les contrôles, les opérateurs et les éventuelles décisions de traitement des écarts sont consignés sur la fiche de suivi. En cas de résultat hors spécification, le lot est isolé et aucune libération n'est autorisée avant décision documentée du responsable qualité.

Résultats de contrôle du lot et critères d'acceptation

Contrôle	Résultat du témoin	Exigence client
Dureté superficielle	62 HRC	60 à 64 HRC
Dureté à cœur	32 HRC	Au moins 30 HRC
Profil de dureté	Valeurs reportées en partie 2	Profondeur à 550 HV : 0,70 à 1,00 mm

La profondeur conventionnelle se détermine à 550 HV par interpolation linéaire.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 1 : Document réponse à rendre avec la copie : Questions 2.1, 2.3 et 3.4 — **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter toutes les cases laissées vides. Faire apparaître les calculs intermédiaires et les unités. Pour la question 3.4, appliquer la règle de chargement du DT 2.

Feuille de calcul de charge et de mise en panier

Grandeur	Calcul	Résultat	Unité
Masse totale des pièces	.....	.....	kg
Nombre de paniers requis	.....	.....	paniers
Masse totale de charge, paniers compris	.....	.....	kg
Volume minimal d'huile	.....	.....	L
Conformité à la capacité de la cuve	.....	.....	conforme / non conforme

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

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 2 : Document réponse à rendre avec la copie : Questions 3.1 et 4.3 **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter la gamme opératoire en indiquant les paramètres ou points de vigilance essentiels. Utiliser la dernière ligne pour formaliser la conduite à tenir en cas de contrôle hors spécification.

Gamme opératoire et décision qualité

Ordre	Opération	Paramètre ou point de vigilance	Contrôle ou enregistrement
1	Réception et identification du lot	.....	.....
2	Préparation et chargement	.....	.....
3	Cémentation gazeuse	.....	.....
4	Trempe à l'huile	.....	.....
5	Revenu et refroidissement	.....	.....
6	Contrôles et décision de libération	.....	.....
Écart : dureté superficielle de 59 HRC	Décision immédiate	.....	.....

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.