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

MOTORISATIONS TOUTES ÉNERGIES

ÉPREUVE E4 : PRÉPARATION ET ESSAIS DES MOTORISATIONS, UNITÉ U43 : ADAPTATION DES MOYENS D'ESSAIS ET DE LA MOTORISATION

SESSION 2026

Durée : 3 heures

SPÉCIALITÉ / UNITÉ	COEFF
MOTORISATIONS TOUTES ÉNERGIES	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.

Aucun document ou matériel autorisé en dehors de ceux fournis avec le sujet. Matériel de protection individuelle fourni pour les opérations réalisées en atelier.

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

Ce sujet comporte 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10.

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

DOSSIER SUJET

MISE EN SITUATION PROFESSIONNELLE ET CAHIER DES CHARGES : MOTEURS ET BANCS DE PROVENCE, ATELIER D'ESSAIS, VITROLLES (BOUCHES-DU-RHÔNE)

Le laboratoire Moteurs et Bancs de Provence doit adapter son banc d'essais afin de caractériser un moteur électrique de traction destiné à une chaîne de propulsion hybride. Vous êtes chargé d'étudier l'adaptation mécanique et les moyens auxiliaires nécessaires, puis de préparer la fabrication et la mise en service de l'adaptation.

La présente situation d'évaluation est organisée en contrôle en cours de formation. Le temps de travail prévu pour cette situation est de 3 heures. Les données nécessaires sont fournies dans le sujet et les documents techniques DT 1 à DT 3.

Cahier des charges : moteur à tester de puissance mécanique maximale 120 kW, plage de fonctionnement de 1 000 à 6 000 tr/min, couple maximal annoncé de 220 N·m, arbre de sortie cylindrique de diamètre 45 mm avec clavette de 14 mm. Le banc existant accepte une puissance maximale de 150 kW, un couple maximal de 300 N·m et une vitesse maximale de 8 000 tr/min. La transmission entre moteur et banc sera directe, sans réducteur. La température de l'air entrant dans le local peut atteindre 30 °C. La température de l'air de refroidissement à la sortie du capot moteur ne doit pas dépasser 45 °C.

Le travail demandé porte sur l'exploitation du cahier des charges, le choix et le dimensionnement d'une solution d'adaptation, la préparation d'opérations de fabrication et la prévention des risques.

PARTIE 1 : Analyse fonctionnelle et réglementaire (5 points)

Compétence C5-1 : Exploiter un cahier des charges

À partir du contexte et des DT 1 à DT 3, formaliser les exigences applicables à l'adaptation du banc. Les références réglementaires et normatives fournies au DT 3 sont des éléments de cadrage pour l'étude ; elles ne remplacent pas l'analyse de risques de l'installation complète.

Exigences principales du cahier des charges

Exigence	Valeur ou contrainte	Critère de vérification
Puissance moteur	120 kW maximum	Puissance admissible du banc supérieure ou égale à la puissance demandée
Vitesse moteur	1 000 à 6 000 tr/min	Vitesse admissible de chaque élément tournant supérieure ou égale à 6 000 tr/min
Couple moteur	220 N·m maximum annoncé	Couple admissible de l'accouplement et du banc supérieur ou égal au couple maximal
Refroidissement	Air entrant 30 °C maximum ; air sortant 45 °C maximum	Débit d'air dimensionné pour les pertes thermiques indiquées au DT 2
Transmission	Directe, sans réducteur	Alignement des axes et compatibilité des interfaces

Données du client et caractéristiques du banc existant

1.1 (2 points) Compléter le tableau du DR 1 en distinguant les fonctions attendues, les contraintes d'interface et les critères mesurables de réception. Retenir au moins quatre exigences pertinentes du cahier des charges.

1.2 (1,5 point) Vérifier, à partir des capacités du banc existant et des limites du moteur, que la puissance, le couple annoncé et la vitesse maximale du moteur sont compatibles avec le banc. Présenter les trois comparaisons et conclure.

1.3 (1,5 point) À l'aide du DT 3, relever deux références pertinentes pour la conception ou l'utilisation de l'adaptation et préciser, pour chacune, le risque ou l'aspect technique concerné. Indiquer également une exigence du Code du travail applicable à la prévention lors des opérations d'essai.

PARTIE 2 : Étude technologique, choix et dimensionnement (7 points)

Compétence C5-2 : Concevoir et dimensionner une solution d'amélioration

La solution étudiée est une adaptation mécanique directe entre l'arbre moteur et le banc, réalisée au moyen d'un plateau en acier S355 et d'un accouplement élastique. Le banc existant comporte une bride de raccordement à six taraudages M10 régulièrement répartis sur un cercle de perçage de diamètre 130 mm. Les calculs seront conduits avec les données du DT 1 et du DT 2. Toute hypothèse complémentaire doit être explicitée.

Données retenues pour le dimensionnement

Paramètre	Valeur	Unité
Puissance mécanique maximale	120	kW
Vitesse maximale	6 000	tr/min
Capacité du banc	150	kW
Couple admissible du banc	300	N·m
Pertes thermiques à évacuer	9,6	kW
Masse volumique de l'air	1,20	kg/m³
Capacité thermique massique de l'air	1 005	J/(kg·K)

Valeurs fournies par le laboratoire et les fabricants

2.1 (2 points) Calculer le couple correspondant à 120 kW à 6 000 tr/min à l'aide de la relation du DT 2. Comparer le résultat au couple maximal annoncé de 220 N·m et aux 300 N·m admissibles par le banc. Conclure sur le critère de couple à retenir pour le choix de l'accouplement.

2.2 (1,5 point) Le plateau transmet un couple de calcul de 300 N·m par six vis M10 disposées sur un cercle de rayon 65 mm. En supposant une répartition uniforme du couple et un effort tranchant simple dans chaque vis, calculer l'effort par vis et la contrainte de cisaillement, avec une section résistante de 58 mm² par vis. Comparer cette contrainte à la valeur admissible de 180 MPa fournie au DT 2. Indiquer une limite de cette vérification simplifiée.

2.3 (1,5 point) Calculer le débit massique d'air nécessaire pour évacuer 9,6 kW de pertes thermiques lorsque l'élévation de température de l'air est limitée à 15 K. En déduire le débit volumique avec la masse volumique fournie. Le ventilateur proposé délivre 0,60 m³/s : conclure sur son adéquation.

2.4 (1 point) Calculer la puissance électrique absorbée par le ventilateur proposé si la pression totale est de 450 Pa et son rendement global de 0,55. Utiliser la relation fournie au DT 2. Conclure sur la puissance nominale minimale à retenir parmi les moteurs disponibles au DT 2.

2.5 (1 point) Évaluer la masse du disque fini de diamètre 180 mm et d'épaisseur 12 mm, puis celle du brut cylindrique de diamètre 210 mm et de même épaisseur. Calculer la masse de matière retirée et le coût du brut à 4,20 € par kilogramme, hors taxes. Utiliser la masse volumique de l'acier fournie au DT 2.

PARTIE 3 : Préparation de fabrication et protocole opératoire (5 points)

Préparer la réalisation et la validation de l'adaptation

Le plateau doit être usiné dans un atelier disposant d'un tour conventionnel, d'une perceuse à colonne et des moyens de contrôle dimensionnel indiqués au DT 2. La vitesse de coupe et l'avance recommandées pour l'outil carbure sont fournies au DT 2. Les opérations doivent préserver la concentricité des interfaces et la qualité d'assemblage.

Paramètres disponibles pour l'usinage

Opération	Donnée	Valeur
Tournage extérieur	Diamètre du brut	210 mm
Tournage extérieur	Vitesse de coupe recommandée	180 m/min
Tournage extérieur	Avance	0,20 mm/tr
Longueur usinée	Longueur avec approche	30 mm
Contrôle	Moyens disponibles	Pied à coulisse, micromètre, comparateur

Données de fabrication communiquées par l'atelier

3.1 (2 points) Calculer la fréquence de rotation de la pièce à partir de la vitesse de coupe de 180 m/min et du diamètre usiné de 210 mm. Choisir une vitesse de broche parmi les vitesses disponibles au DT 2. Avec cette vitesse retenue, calculer le temps théorique de coupe pour une longueur totale de 30 mm et une avance de 0,20 mm/tr. Donner les unités et expliciter l'arrondi.

3.2 (1,5 point) Compléter le DR 2 avec une feuille de débit et une nomenclature minimale de l'adaptation. Faire apparaître le plateau, l'accouplement, les vis de fixation et les éléments de refroidissement, avec les quantités et les caractéristiques utiles à l'approvisionnement.

3.3 (1,5 point) Rédiger un protocole de réception en atelier comportant au moins quatre contrôles ou essais successifs. Il doit inclure le contrôle dimensionnel et de concentricité, l'alignement, un essai progressif en rotation et une vérification du refroidissement. Pour chaque étape, préciser le critère de conformité issu des données du sujet ou une valeur à définir par le responsable d'essai.

PARTIE 4 : Prévention et sécurité (3 points)

Identifier les risques et définir les mesures de prévention

Les opérations comprennent l'usinage du plateau, le montage de l'adaptation et l'essai d'un moteur tournant à vitesse élevée. La zone d'essai comporte une enceinte de protection, un arrêt d'urgence et une extraction d'air. Les règles de consignation et les références de prévention applicables sont rappelées au DT 3.

Situations dangereuses à examiner

Situation	Danger principal
Usinage du plateau	Projection de copeaux, entraînement par les éléments en rotation
Montage de l'adaptation	Écrasement, chute de pièce, erreur d'assemblage
Essai à vitesse élevée	Rupture ou éjection d'un élément tournant, bruit, pièces chaudes
Essai du moteur	Risque électrique et accumulation de gaz d'échappement selon la motorisation testée

Analyse à compléter dans la réponse du candidat

4.1 (1,5 point) Pour trois des situations du tableau, proposer une mesure de prévention collective ou une mesure technique prioritaire, puis une mesure complémentaire portant sur l'organisation ou les équipements de protection individuelle. Justifier brièvement le choix de chaque mesure.

4.2 (1,5 point) Énoncer une séquence sûre de mise en sécurité avant le montage ou le réglage de l'adaptation, puis indiquer les conditions à vérifier avant d'autoriser la remise en rotation du banc. Intégrer la consignation des énergies, la présence des protections et le contrôle de la zone d'essai.

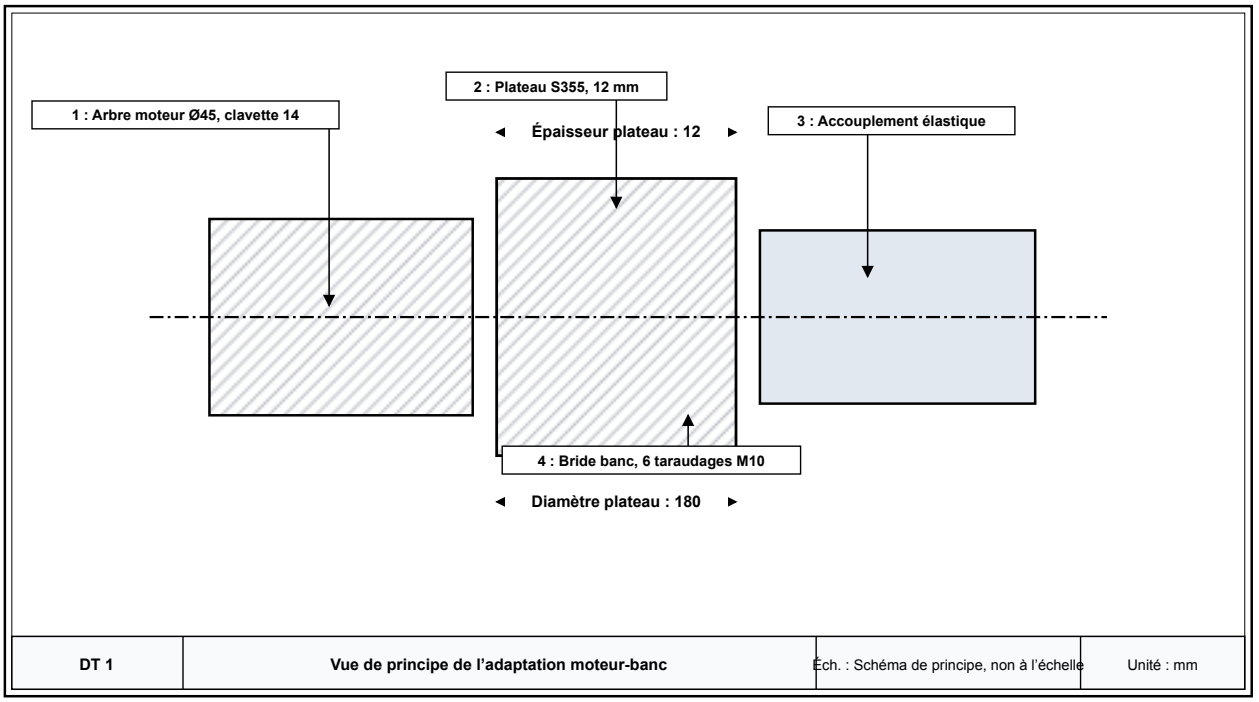
DOSSIER TECHNIQUE ET RESSOURCES

Documents ressources nécessaires à la résolution du sujet

DT 1 : SCHÉMA D'IMPLANTATION ET INTERFACES MÉCANIQUES DE L'ADAPTATION

Le dessin est schématique et sans échelle de fabrication. Les dimensions fonctionnelles écrites font foi. Le plateau d'adaptation est un disque en acier S355, épaisseur 12 mm, diamètre fini 180 mm. Il comporte un centrage mâle de diamètre 45 mm côté moteur et six perçages de diamètre 10,5 mm sur un cercle de perçage de diamètre 130 mm côté banc. L'arbre moteur possède une clavette de 14 mm ; le moyeu d'accouplement doit être compatible avec cette interface. L'accouplement élastique choisi devra accepter au minimum 300 N·m et 6 000 tr/min. Le banc accepte 150 kW, 300 N·m et 8 000 tr/min.

Les six vis de fixation du plateau au banc sont de classe 10.9, M10, régulièrement réparties. Pour le calcul simplifié demandé, la section résistante d'une vis est 58 mm², le rayon de disposition est 65 mm et la contrainte admissible en cisaillement retenue pour l'étude est 180 MPa. Ce calcul ne remplace pas une vérification complète de l'assemblage, des effets de fatigue, du serrage et des conditions de montage.



Caractéristiques d'interface

Élément	Caractéristique	Exigence
Arbre moteur	Diamètre 45 mm ; clavette 14 mm	Moyeu compatible avec l'arbre et la clavette
Plateau	Acier S355 ; Ø fini 180 mm ; épaisseur 12 mm	Faces propres et interfaces concentriques
Fixation côté banc	6 taraudages M10 sur cercle Ø130 mm	Répartition régulière ; vis adaptées et serrées selon procédure
Accouplement	Transmission directe	Couple admissible ≥ 300 N·m ; vitesse admissible ≥ 6 000 tr/min

DT 2 : DONNÉES DE CALCUL, DE REFROIDISSEMENT ET DE FABRICATION

Relations utiles : puissance mécanique et couple : $P = C\omega$, avec $\omega = 2\pi n/60$, soit $C = 9550P/n$ lorsque P est en kW, n en tr/min et C en N·m. Débit thermique d'air : $\dot{Q} = \dot{m}c_p\Delta T$, avec $\dot{V} = \dot{m}/\rho$. Puissance électrique du ventilateur : $P_{el} = \Delta p\,\dot{V}/\eta$. Contrainte moyenne de cisaillement : $\tau = F/A$. Pour un couple transmis par six vis réparties sur un rayon r, l'effort tangentiel simplifié par vis est $F = C/(6r)$.

Propriétés matière : masse volumique de l'acier $\rho_s = 7850$ kg/m³. Prix d'achat du brut acier : 4,20 € HT/kg. Pour les calculs de masse, assimiler le brut et le disque fini à des cylindres pleins. Volume d'un cylindre : $V = \pi D^2 e/4$.

Ventilation : pertes thermiques à évacuer : 9,6 kW ; masse volumique de l'air : 1,20 kg/m³ ; capacité thermique massique : 1 005 J/(kg·K) ; élévation maximale de température : 15 K. Le ventilateur disponible fournit 0,60 m³/s à 450 Pa avec un rendement global de 0,55. Les moteurs disponibles pour l'entraîner sont de 0,75 kW et 1,1 kW.

Usinage : tournage avec outil carbure, vitesse de coupe recommandée 180 m/min, avance 0,20 mm/tr. Vitesses de broche disponibles : 250, 315, 400 et 500 tr/min. Pour le calcul du temps, retenir une longueur totale de coupe de 30 mm. Vitesse de rotation théorique : $n = 1000V_c/(\pi D)$. Temps de coupe : $t = L/(fn)$, où L est en mm, f en mm/tr et n en tr/min.

Le brut prévu est un cylindre de diamètre 210 mm et d'épaisseur 12 mm. Le diamètre fini du plateau est 180 mm. Les contrôles géométriques disponibles sont le pied à coulisse, le micromètre et le comparateur.

Synthèse des données de dimensionnement

Grandeur	Valeur	Unité
Pertes thermiques à évacuer	9,6	kW
Élévation maximale de température de l'air	15	K
Pression totale ventilateur	450	Pa
Rendement global ventilateur	0,55	Sans unité
Masse volumique acier	7 850	kg/m³
Prix acier brut	4,20	€/kg HT
Vitesse de coupe recommandée	180	m/min
Avance de tournage	0,20	mm/tr

DT 3 : RÉFÉRENCES DE PRÉVENTION, EXIGENCES DE RÉCEPTION ET SÉCURITÉ D'ESSAI

Références techniques à considérer dans l'étude : NF EN ISO 12100, principes généraux de conception et d'appréciation du risque des machines ; NF EN 60204-1, équipements électriques des machines ; directive 2006/42/CE relative aux machines, applicable au cadre réglementaire de mise sur le marché en 2026. L'applicabilité précise des textes et la conformité de l'ensemble doivent être vérifiées pour l'installation réelle.

Prévention au travail : appliquer les principes généraux de prévention prévus par le Code du travail, notamment l'évaluation des risques, la priorité aux protections collectives et la mise en sécurité avant intervention. Avant toute intervention sur l'adaptation, arrêter le banc, isoler les énergies concernées, condamner les organes de coupure, identifier la consignation et vérifier l'absence d'énergie résiduelle selon la procédure du site. La remise en service est réalisée après retrait des outils, remontage des protections, évacuation du personnel de la zone dangereuse et autorisation du responsable d'essai.

Exigences de réception du laboratoire : absence de contact entre éléments tournants et protections ; fixation contrôlée selon la procédure d'assemblage ; absence de vibration ou de bruit anormal lors de la montée progressive en vitesse ; fonctionnement du dispositif d'arrêt d'urgence ; débit de refroidissement vérifié ; maintien de la température d'air sortant à 45 °C maximum dans les conditions spécifiées. Les valeurs de tolérance géométrique et de vibration non données dans le sujet sont à fixer par le responsable d'essai à partir des spécifications du fabricant et de l'analyse de risques.

Équipements de protection : pour l'usinage, lunettes de protection et vêtements ajustés ; ne pas porter de gants à proximité d'un élément en rotation. Pour les opérations de montage, utiliser les moyens de manutention adaptés et protéger les mains lors de la manipulation de pièces à arêtes vives. En essai, maintenir l'enceinte fermée et utiliser les protections auditives lorsque l'évaluation du risque sonore l'exige.

Références et application à l'étude

Référence ou exigence	Domaine concerné	Application à l'adaptation
NF EN ISO 12100	Appréciation et réduction des risques	Identifier les phénomènes dangereux liés aux pièces tournantes et définir des mesures de réduction
NF EN 60204-1	Équipement électrique des machines	Prendre en compte l'arrêt, la commande et la sécurité électrique du banc
Code du travail : principes généraux de prévention	Santé et sécurité au travail	Évaluer les risques et privilégier les protections collectives
Procédure de consignation du site	Intervention et maintenance	Isoler, condamner et vérifier les énergies avant intervention

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 1 : Document réponse à rendre avec la copie : questions 1.1 et 1.2 **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter les cellules repérées par « ... ». Pour la question 1.2, inscrire les valeurs comparées et une conclusion concise.

Analyse des exigences et vérification de compatibilité

Fonction ou exigence	Contrainte / donnée	Critère de vérification ou conclusion
Transmettre la puissance moteur au banc	.....	.....
Transmettre le couple sans dépassement de capacité	.....	.....
Fonctionner sur la plage de vitesse requise	.....	.....
Évacuer les pertes thermiques	.....	.....
Assurer la compatibilité des interfaces mécaniques	.....	.....
Comparaison puissance moteur / capacité banc	.....	.....
Comparaison couple calculé ou annoncé / capacité banc	.....	.....
Comparaison vitesse maximale moteur / capacité banc	.....	.....

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 3.2 et 3.3 **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter la nomenclature et la feuille de débit avec les quantités et les caractéristiques utiles. Reporter ensuite les étapes du protocole de réception dans l'ordre retenu. Ajouter des lignes si nécessaire.

Nomenclature et feuille de débit de l'adaptation

Repère	Désignation	Matière ou caractéristique	Dimensions / capacité requise	Quantité	Contrôle ou observation
1	Plateau d'adaptation	.....	.....	.....	.....
2	Accouplement élastique	.....	.....	.....	.....
3	Vis de fixation côté banc	.....	.....	.....	.....
4	Moyen de refroidissement	.....	.....	.....	.....

Protocole de réception et critères de conformité

Ordre	Contrôle ou essai	Moyen utilisé	Critère d'acceptation
1	.....	.....	.....
2	.....	.....	.....
3	.....	.....	.....
4	.....	.....	.....

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.