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 E6 : EXPLOITATION DES RÉSULTATS D'ESSAI

SESSION 2026

Durée : 4 heures

SPÉCIALITÉ / UNITÉ	COEFF
MOTORISATIONS TOUTES ÉNERGIES	4

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 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 : LABORATOIRE D'ESSAIS MOTEURS & MOBILITÉS, SITE DE VÉNISSIEUX (RHÔNE)

Le laboratoire Moteurs & Mobilités réalise la caractérisation d'une chaîne de traction électrique destinée à un véhicule utilitaire léger. L'essai porte sur un moteur synchrone à aimants permanents alimenté par un onduleur, installé sur un banc dynamométrique.

Le client demande de vérifier le fonctionnement du système à trois régimes stabilisés, de calculer les puissances et le rendement, d'examiner la cohérence des mesures et de proposer une conclusion exploitable pour le compte rendu d'essai. Les données nécessaires figurent dans le dossier technique DT 1 à DT 3. Les conventions, unités et incertitudes sont celles indiquées dans ces documents.

Le barème est de 20 points. Les réponses doivent être justifiées, les résultats numériques accompagnés de leurs unités et les conclusions rédigées de manière claire et concise.

PARTIE 1 : Analyse fonctionnelle et conditions d'essai (4,5 points)

Compétence C3.1 : analyser fonctionnellement et structurellement un système

À l'aide du schéma du DT 1 et des caractéristiques du DT 2, étudier la chaîne de traction électrique et les conditions dans lesquelles les mesures ont été réalisées. On rappelle que la puissance mécanique de rotation est définie par $P_m = C\omega$, avec $\omega = 2\pi n/60$ lorsque n est exprimée en tr/min.

Repérage des principaux éléments de la chaîne de traction

Repère	Élément	Fonction principale
1	Onduleur	Alimente le moteur en courant alternatif à partir du bus continu
2	Moteur synchrone à aimants permanents	Convertit l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation
3	Capteur de couple et de vitesse	Mesure le couple transmis et la vitesse de rotation
4	Dynamomètre	Applique une charge mécanique contrôlée à l'arbre
5	Circuit de refroidissement	Évacue une partie de l'énergie thermique

Les repères renvoient au schéma technique DT 1.

1.1 (1,5 point) Décrire la fonction globale de la chaîne étudiée et préciser, dans l'ordre, le cheminement de l'énergie depuis le bus continu jusqu'au dynamomètre. Indiquer le rôle de l'onduleur dans cette chaîne.

1.2 (1,5 point) Identifier les grandeurs mesurées directement par le banc et les grandeurs calculées à partir de ces mesures pour établir le rendement du moteur. Préciser les unités utilisées pour le couple, la vitesse, la tension et le courant.

1.3 (1,5 point) À partir du DT 2 et du DT 3, vérifier que le point d'essai à $3000\ \mathrm{tr/min}$ respecte les limites de vitesse et de couple du moteur. Indiquer les deux comparaisons effectuées.

PARTIE 2 : Exploitation des mesures et modélisation (6 points)

Compétences C3.2 et C3.3 : modéliser le comportement et analyser les résultats

Exploiter les mesures stabilisées du DT 3. Les puissances électriques sont calculées côté bus continu selon $P_e = UI$. Pour la puissance mécanique, utiliser $P_m = C \times 2\pi n/60$. Le rendement est défini par $\eta = P_m/P_e$. Le débit volumique de liquide est donné en $\mathrm{L/min}$; pour le calcul thermique, utiliser la masse volumique et la capacité thermique fournies dans le DT 2.

Données stabilisées à exploiter

Vitesse (tr/min)	Couple (N·m)	Tension bus (V)	Courant bus (A)
1500	150,0	400	70,0
3000	180,0	400	155,0
4500	150,0	400	195,0

Extrait du relevé d'essai fourni au DT 3.

2.1 (2 points) Pour le point à $3000\ \mathrm{tr/min}$, calculer la vitesse angulaire en $\mathrm{rad/s}$, puis la puissance mécanique et la puissance électrique absorbée. Présenter les étapes de calcul et donner les résultats en kW.

2.2 (2 points) Calculer le rendement du moteur au point à $3000\ \mathrm{tr/min}$. Au regard de l'exigence client $\eta \geq 90\ \%$, conclure sur la conformité de la valeur calculée.

2.3 (2 points) Au point à $3000\ \mathrm{tr/min}$, calculer la puissance thermique évacuée par le liquide de refroidissement avec $P_{th} = \dot{m} c_p \Delta T$. Convertir d'abord le débit volumique en débit massique à l'aide des données du DT 2. Comparer la puissance thermique obtenue à la différence entre puissance électrique absorbée et puissance mécanique utile, puis commenter l'écart.

PARTIE 3 : Analyse des résultats et synthèse d'essai (6 points)

Compétences C3.2, C3.3 et C3.4 : confronter mesures et modèle, produire une synthèse

Les mesures du DT 3 ont été réalisées après stabilisation thermique, avec le même circuit de refroidissement. Pour l'analyse d'incertitude au point à $3000\ \mathrm{tr/min}$, on considère les incertitudes élargies instrumentales indiquées dans le DT 2 et une propagation par somme quadratique des incertitudes relatives, selon la relation fournie dans ce document.

Répétabilité des mesures de couple à 3000 tr/min

Acquisition	Couple (N·m)
1	179,2
2	180,0
3	180,8

Trois acquisitions consécutives après stabilisation du point de fonctionnement.

3.1 (2 points) Pour chacun des trois régimes du DT 3, calculer la puissance mécanique et le rendement. Présenter les résultats dans le DR 1, avec une précision cohérente avec les mesures.

3.2 (2 points) À partir des trois acquisitions de couple, calculer le couple moyen et l'écart-type expérimental avec le diviseur $n - 1$. Interpréter le résultat au regard de l'incertitude élargie du capteur de couple indiquée au DT 2.

3.3 (2 points) Au point à $3000\ \mathrm{tr/min}$, estimer l'incertitude élargie sur la puissance mécanique et sur le rendement par propagation des incertitudes. Présenter le rendement sous la forme $\eta \pm U_\eta$, en points de pourcentage, puis conclure sur la conformité à l'exigence $\eta \geq 90\ \%$ en tenant compte de l'incertitude.

PARTIE 4 : Préparation opératoire et prévention des risques (3,5 points)

Compétences C3.1 et C3.4 : justifier les conditions d'essai et communiquer les consignes de prévention

Le banc comporte un arbre en rotation, un bus continu de forte puissance et un circuit de refroidissement chaud. Les essais sont réalisés par du personnel habilité, conformément aux procédures de sécurité du laboratoire et aux prescriptions applicables aux équipements de travail. Les valeurs limites et conditions de mise en sécurité figurent au DT 2.

Situations à prendre en compte avant et pendant l'essai

Situation	Donnée ou danger identifié
Arbre et accouplement	Rotation jusqu'à 4500 tr/min
Bus continu	400 V en fonctionnement
Refroidissement	Liquide pouvant atteindre 75 °C
Arrêt d'urgence	Commande accessible depuis le poste opérateur

Éléments issus de l'analyse de risques du banc.

4.1 (2 points) Proposer, dans l'ordre, quatre vérifications ou actions nécessaires avant le lancement d'un essai sur ce banc. Les propositions doivent couvrir au moins la fixation mécanique, la sécurité électrique, le refroidissement et la disponibilité de l'arrêt d'urgence.

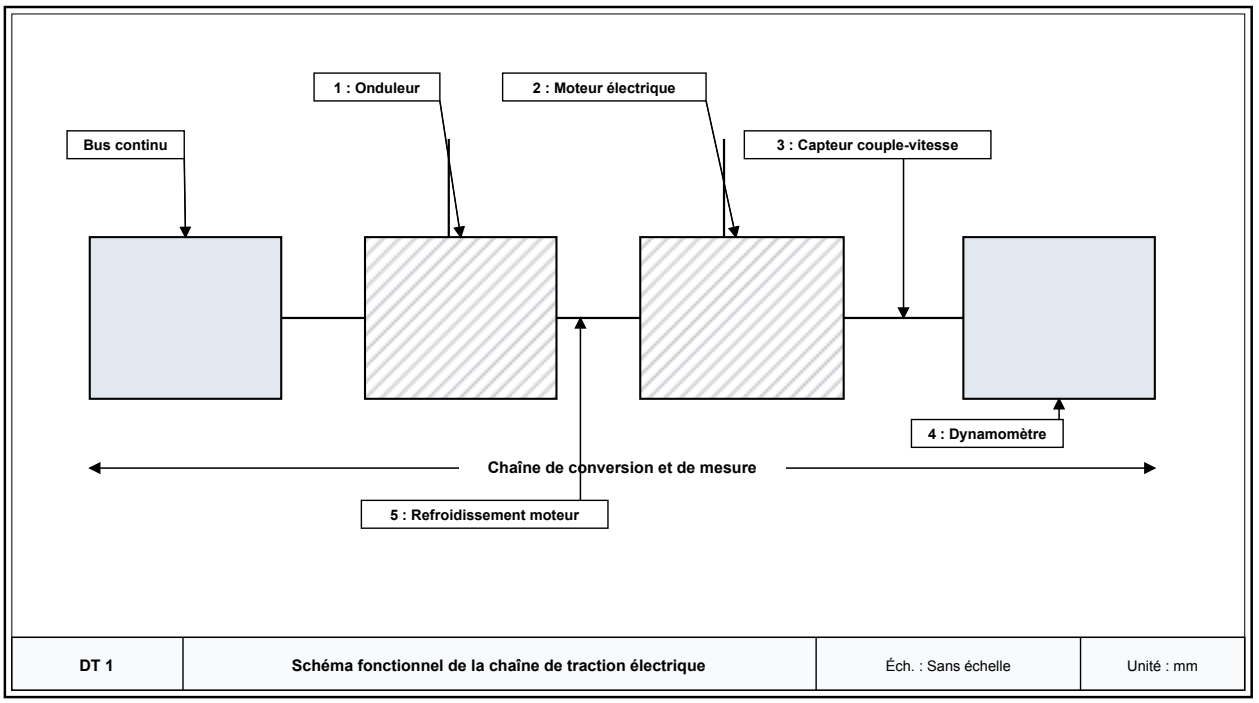
4.2 (1,5 point) Rédiger une synthèse professionnelle de trois à cinq lignes destinée au responsable d'essai. Elle doit mentionner le rendement obtenu à $3000\ \mathrm{tr/min}$, sa conformité à l'exigence client en tenant compte de l'incertitude, ainsi qu'une limite ou précaution à conserver lors de l'interprétation des résultats.

DOSSIER TECHNIQUE ET RESSOURCES

Documents ressources nécessaires à la résolution du sujet

DT 1 : SCHÉMA FONCTIONNEL ET IMPLANTATION DE LA CHAÎNE DE TRACTION SUR LE BANC

Le système étudié comprend un bus continu, un onduleur de traction, un moteur synchrone à aimants permanents, un capteur de couple et de vitesse, un dynamomètre et un circuit de refroidissement. La puissance électrique d'entrée est mesurée au bus continu. Le couple et la vitesse sont mesurés sur l'arbre entre le moteur et le dynamomètre. Le schéma est fonctionnel et n'est pas à l'échelle.



DT 1	Schéma fonctionnel de la chaîne de traction électrique	Éch. : Sans échelle	Unité : mm

DT 2 : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES, CRITÈRES D'ESSAI ET DONNÉES MÉTROLOGIQUES

Le moteur est essayé sur banc à température ambiante contrôlée. Les valeurs indiquées ci-dessous sont les limites ou caractéristiques applicables à l'essai considéré. L'exigence client au point nominal demandé est un rendement électrique-mécanique supérieur ou égal à $90\ \%$.

Pour les calculs d'incertitude, traiter les incertitudes élargies instrumentales comme indépendantes. Pour une grandeur calculée par produit ou quotient, utiliser la propagation relative par somme quadratique : $U_y/y = \sqrt{(U_a/a)^2 + (U_b/b)^2 + \cdots}$. Pour le rendement, combiner de la même manière les incertitudes relatives des puissances électrique et mécanique.

Caractéristiques du système et données de calcul

Paramètre	Valeur	Unité ou précision
Vitesse maximale du moteur	6000	tr/min
Couple maximal continu	200	N·m
Tension nominale du bus continu	400	V
Exigence client au point nominal	Rendement supérieur ou égal à 90	%
Incertitude élargie du capteur de couple	±1,5	N·m
Incertitude élargie du capteur de vitesse	±5	tr/min
Incertitude élargie de la mesure de tension	±2	V
Incertitude élargie de la mesure de courant	±1	A
Débit volumique du liquide au point 3000 tr/min	12,0	L/min
Échauffement du liquide au point 3000 tr/min	8,5	K
Masse volumique du liquide	1,00	kg/L
Capacité thermique massique du liquide	4180	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Température maximale du liquide en essai	75	°C

Fiche technique du banc et du moteur, applicable à la session d'essai.

DT 3 : RELEVÉ D'ESSAI ET CONDITIONS DE RÉALISATION

Les valeurs ci-dessous sont des moyennes acquises sur des périodes stabilisées de 30 s. La tension et le courant correspondent aux mesures côté bus continu. Les mesures ont été enregistrées après vérification du zéro des capteurs et stabilisation de la température du liquide. Les trois acquisitions de couple indiquées pour $3000\ \mathrm{tr/min}$ sont consécutives et réalisées sans modification de la consigne.

Pour le calcul de l'écart-type expérimental d'un échantillon, utiliser $s = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(C_i - \overline{C})^2/(n-1)}$.

Mesures moyennes aux trois régimes stabilisés

Point	Vitesse (tr/min)	Couple (N·m)	Tension bus (V)	Courant bus (A)
A	1500	150,0	400	70,0
B	3000	180,0	400	155,0
C	4500	150,0	400	195,0

Relevé du banc : grandeurs mesurées directement.

Acquisitions répétées de couple au point B

Acquisition	Couple (N·m)
1	179,2
2	180,0
3	180,8

Acquisitions consécutives à 3000 tr/min.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 1 : Document réponse à rendre avec la copie : calcul des puissances et rendements

À RENDRE AVEC LA COPIE

Compléter le tableau à partir des données du DT 3. Indiquer les calculs sur la copie. Les puissances seront exprimées en kW et les rendements en pourcentage.

Tableau d'exploitation des trois points d'essai

Point	Vitesse angulaire (rad/s)	Puissance mécanique (kW)	Puissance électrique (kW)	Rendement (%)
A	.....	.....	.....	.....
B	.....	.....	.....	.....
C	.....	.....	.....	.....

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 : fiche de synthèse métrologique

À RENDRE AVEC LA COPIE

Compléter les cases avec les résultats calculés au point B, à $3000\ \mathrm{tr/min}$. Donner les unités et une conclusion brève dans la dernière ligne.

Résultats et conclusion au point B

Grandeur ou conclusion	Résultat
Couple moyen des trois acquisitions (N·m)	.....
Écart-type expérimental du couple (N·m)	.....
Incertitude élargie sur la puissance mécanique (kW)	.....
Rendement avec incertitude élargie (%)	.....
Conclusion sur l'exigence client	.....

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.