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 :
www.formav.co/explorer

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

Assistance Technique d'Ingénieur

ÉPREUVE E3 - Mathématiques physiques

Sous-épreuve - U32 - Sciences physiques

SESSION 2018

Durée : 2 heures
Coefficient 2

Matériel autorisé : L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet et comporte 15 pages numérotées de 1/15 à 15/15.

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Étude de l'efficacité énergétique des ventilateurs de tirage d'une cimenterie

Introduction :

La fabrication du ciment est un procédé complexe, qui demande une maîtrise technique parfaite et exige un vrai savoir-faire, le tout accompagné d'une très grande consommation d'énergie.

Les ventilateurs de tirage :

Plusieurs facteurs appuient la nécessité de réaliser des diagnostics énergétiques dans l'industrie cimentière pour identifier les économies d'énergie potentielles. Il a été démontré que les ventilateurs de tirage, véritables poumons d'une installation, faisaient partie des gros consommateurs d'énergie. Les cimenteries en activité datent pour la majorité des années 70 - 80, elles apparaissent donc vieillissantes. De façon à les mettre aux nouvelles normes environnementales, mais également pour une amélioration de l'efficacité énergétique, les ventilateurs de tirages constitués à l'origine de moteurs à courant continu, doivent être remplacés par des moteurs asynchrones, mieux adaptés. Ce renouvellement des ventilateurs implique une mise en place de nouveaux variateurs de vitesses, accompagnés de capteurs permettant de faciliter la maintenance préventive.



FIGURE 1

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel

Dans ce sujet nous nous intéresserons à une installation réelle en cours de modification. Il sera demandé de dimensionner le nouveau moteur asynchrone d'un ventilateur de tirage, de réaliser une analyse de l'électronique de puissance de l'alimentation du moteur, ainsi que d'étudier le système de surveillance mis en place pour la maintenance.

Partie A : justification du choix du moteur et vérification de performances. (6 points)

Partie B : variateur de vitesse du type MLI. (5 points)

Partie C : électronique liée à la détection de vibrations. (7 points)

Partie D : analyse de défauts éventuels. (2 points)



FIGURE 2

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Partie A : justification du choix du moteur et vérification de performances. (6 points)

Le ventilateur de tirage tient une part importante du processus de fabrication du ciment. L'entreprise WEG désire répondre à l'appel d'offre concernant l'amélioration et la modification du système d'extraction. L'étude portera donc sur le dimensionnement du moteur d'extraction, avec une vérification de ses performances.

Dossier technique issu du cahier des charges :	
Débit d'air nécessaire	Q_v= 900 000 $m^3 \cdot h^{-1}$
Pression disponible de ventilation	p= 8500 Pa
Rendement du ventilateur	η_v= 72 %

Q1. Calculer la puissance nécessaire pour entraîner le ventilateur de tirage P_{vent} à l'aide de la relation : $P_{vent} = \frac{Q_v \times p}{\eta_v}$ avec Qv exprimé en $m^3 \cdot s^{-1}$.

La transmission moteur ventilateur est réalisée par courroie dont le rendement est de $\eta_{courroie}$ = 92 %.
Le réseau triphasé utilisé est un réseau 1,9 kV / 3,3 kV.

Q2. Montrer que la puissance utile fournie par le moteur est P_u = 3200 kW.

Parmi les moteurs possibles, le technicien choisit le N°3 comme indiqué ci-dessous.

Moteur	Tensions	Hz	A	$tr.min^{-1}$	kW	k = cos φ
1	3300 V / 5700 V	50	236 A / 136 A	1480	1000	0,89
2	1900 V / 3300 V	50	1160 A / 670 A	1490	3200	0,83
3	1900 V / 3300 V	50	1143 A / 666 A	994	3200	0,87
4	3300 V / 5700 V	50	687 A / 396 A	980	3200	0,88

Q3. Quel doit être le couplage à utiliser pour ce moteur ? Justifiez votre réponse.

Q4. Compléter le couplage sur le bornier représenté sur le **document réponse DR1 page 13.**

Q5. Déterminer la puissance absorbée P_a lors du fonctionnement nominal en vous aidant des données de la plaque signalétique.

Q6. Compléter le diagramme de la chaîne d'énergie sur le **document réponse DR1 page 13**.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Q7. Déterminer la vitesse de synchronisme du moteur.

Q8. Quel est le nombre de pôles du stator ?

Q9. Déduire le glissement du moteur.

Q10. Montrer que, dans ces conditions, le rendement du moteur est $\eta_{mot} = 0{,}97$.

Q11. Cocher le ou les bons câblages pour la mesure de la puissance absorbée par le moteur P_a parmi les schémas présents sur le **document réponse DR2 page 14.**

Q12. A partir de la plaque signalétique, montrer que le moment du couple utile nominal est $T_{uN} = 30{,}7$ kN·m.

Q13. Placer ce point sur le **document réponse DR3 page 15.**

Q14. Tracer sur le **document réponse DR3 page 15** la partie utile de la caractéristique mécanique du moteur $T_{u1} = f(n)$.

Q15. Déterminer le point de fonctionnement de l'ensemble ventilateur-moteur.

Q16. Déterminer l'écart relatif $\varepsilon_{rel} = \left|\frac{Tu_N - Tu_{exp}}{Tu_N}\right|$ où T_{uN} est le moment du couple utile nominal théorique obtenu à l'aide de la plaque signalétique, et T_{uexp} est le moment du couple utile obtenu à l'aide de la résolution graphique.
Commenter le résultat obtenu.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Partie B : variateur de vitesse du type MLI. (5 points)

Le moteur du système de ventilation est alimenté par un onduleur MLI fonctionnant à $\frac{U}{f}$ constant. Dans ces conditions, les parties utiles des caractéristiques mécaniques $T_u(n)$ sont des droites parallèles.

Q17. Quel est l'intérêt d'utiliser un onduleur à $\frac{U}{f}$ constant ?

La figure 3 ci-dessous représente les variations au cours du temps de la tension de sortie u_s de l'onduleur, pour une phase.

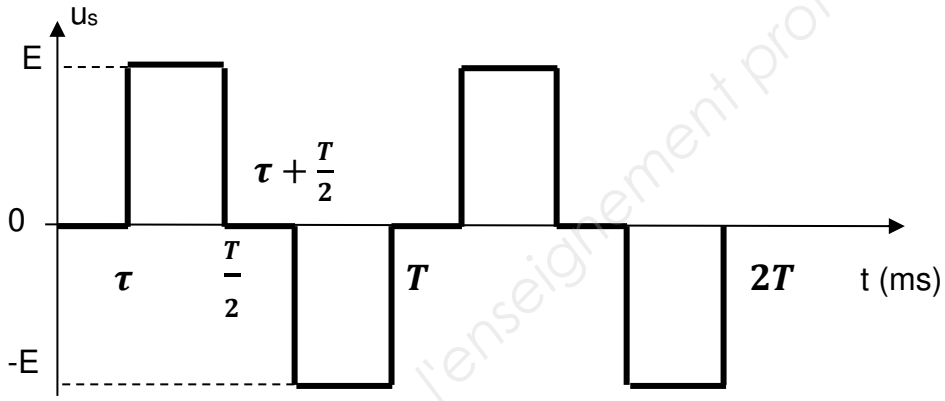


FIGURE 3

Q18. Proposer une méthode permettant de mesurer la valeur efficace U_1 de u_s.

Q19. Déterminer le rapport $\frac{U}{f}$, si U_1 = 3300 V et f_1 = 50 Hz.

Q20. On désire obtenir une vitesse de rotation de l'ensemble ventilateur-moteur n_2 = 792 tr·min^{-1}. En déduire le moment du couple moteur T_{u2} lorsque le moteur tourne à la vitesse n_2. Tracer la caractéristique $T_{u2}(n)$ sur le **document réponse DR3 page 15.** En déduire alors la vitesse de synchronisme.

Q21. Montrer que la nouvelle fréquence f_2 à régler sur l'onduleur est de l'ordre de 40 Hz.

Q22. En déduire la valeur efficace U_2 de la tension u_2.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Partie C : étude du capteur de vibration. (7 points)

Dans l'installation rénovée, le responsable de la maintenance a demandé la mise en place de différentes sondes permettant une surveillance à distance du moteur des ventilateurs. Des capteurs de vibrations sont placés sur le moteur pour la maintenance préventive conditionnelle afin de prévenir les défauts mécaniques les plus importants, comme l'usure des roulements à billes, les problèmes de balourd, de desserrage et de transmissions de courroies incorrectes, ainsi que les phénomènes de résonance.

Les amplificateurs différentiels intégrés (ADI) sont considérés comme parfaits et sont alimentés en -15,0 V et +15,0 V. Les tensions de saturations sont donc égales aux tensions d'alimentations.

La mesure des vibrations est effectuée par un transmetteur de vibration FIGURE 4. Le transmetteur renvoie l'information "vibration" exprimée en $mm \cdot s^{-1}$ sur une sortie « 4 – 20 mA ».
Cette information sera ensuite récupérée par une entrée analogique de l'automate, après conversion en une tension u_{s2} comprise entre 0 et 10 V, conformément à la FIGURE 5.



FIGURE 4

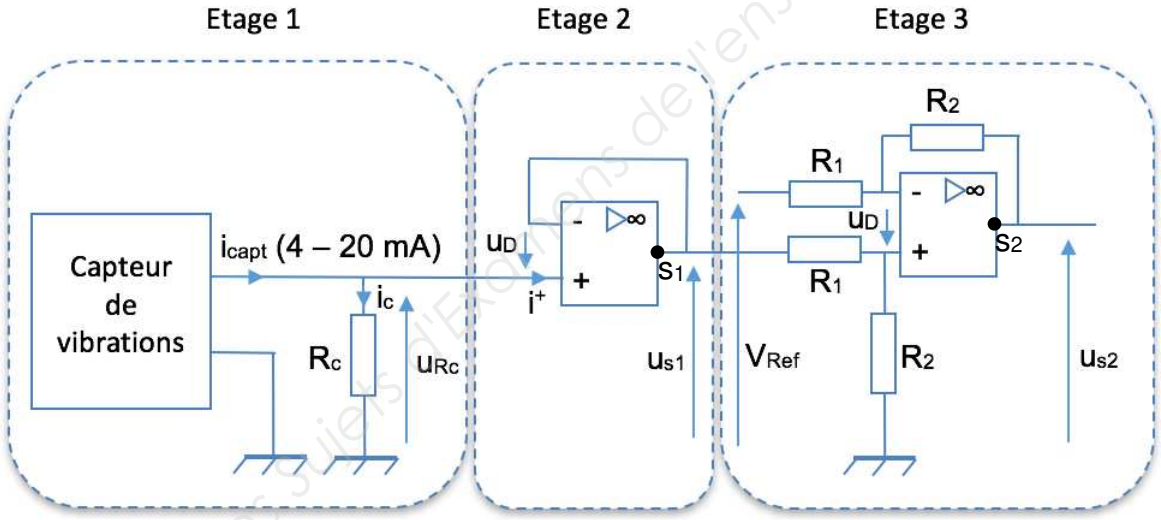


FIGURE 5

Le constructeur donne les caractéristiques suivantes du capteur :

- mesure de vitesse de vibration v_{vib} en $mm \cdot s^{-1}$ (en millimètre par seconde) ;
- capteur analogique ;
- sortie courant 4 - 20 mA .

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Caractéristique du capteur de vibration $i_{capt} = f(v_{vib})$

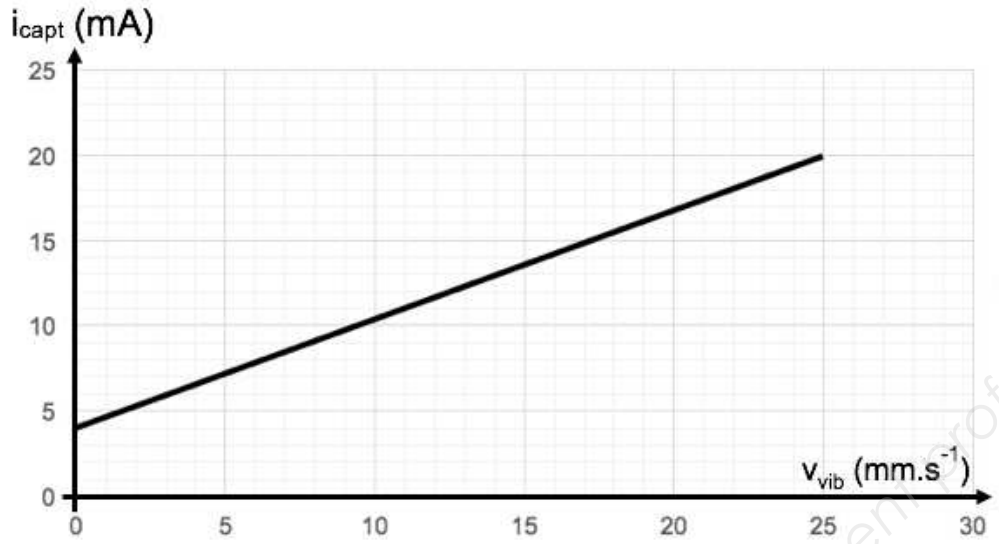


FIGURE 6

Étude du capteur de vibration :

La relation i_{capt} en fonction de v_{vib}, peut se mettre sous la forme :

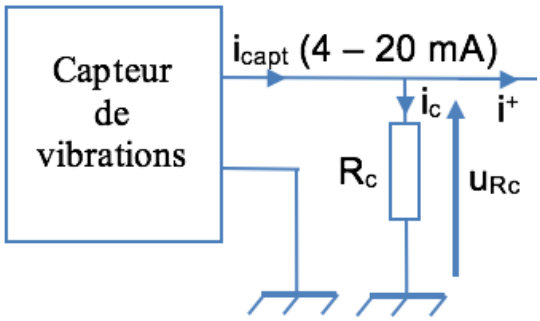
$i_{capt} = 4 \cdot 10^{-3} + 0{,}64 \cdot 10^{-3} \times v_{vib}$, avec i_{capt} exprimée en ampère A et v_{vib} en $mm \cdot s^{-1}$.

Étude de l'étage 1 : convertisseur courant-tension.

ÉTAGE 1

Q23. Exprimer la tension u_{Rc} en fonction de v_{vib} sachant que R_c = 68 Ω, en justifiant la valeur de i^+.

Q24. Déterminer la plage de tension de u_{Rc} disponible.



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

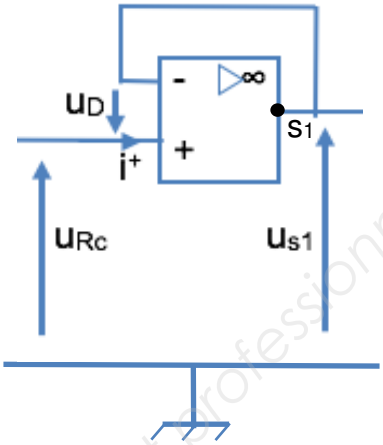
ÉTAGE 2

Étude de l'étage 2 :

Q25. Quel est le régime de fonctionnement de l'amplificateur différentiel intégré (ADI) de l'étage 2 ?

Q26. Démontrer la relation entre u_{Rc} et u_{s1}.

Q27. Quel est le nom du montage réalisé par l'étage 2 et quel est son rôle ?



Etude de l'étage 3 : montage amplificateur de différence.

On rappelle que u_{s2} est une tension comprise entre 0 et 10 V.

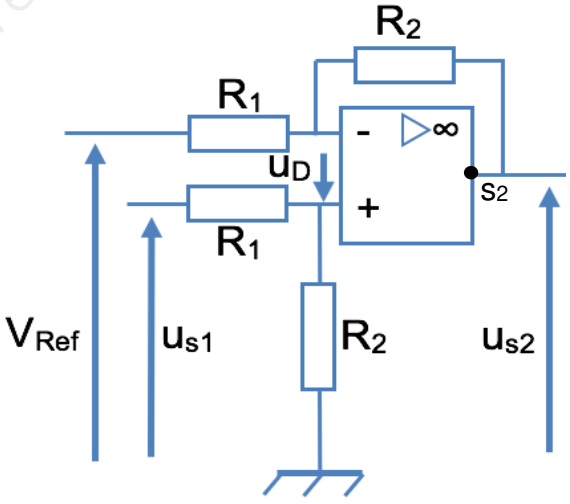
ÉTAGE 3

Q28. Quelle relation lie la tension de l'entrée non inverseuse v^+, et la tension de l'entrée inverseuse v^- sachant que l'amplificateur différentiel intégré (ADI) de l'étage 3 fonctionne en régime linéaire ?

Q29. Exprimer v^+ en fonction de u_{s1}, R_1 et R_2.

Q30. Exprimer v^- en fonction de V_{ref}, u_{s2}, R_1 et R_2.

Q31. Montrer que u_{s2} peut se mettre sous la forme : $u_{s2} = \frac{R_2}{R_1}(u_{s1} - V_{ref})$.



Q32. Expliquer la raison pour laquelle R_2 sera réglée à la valeur 92 kΩ, sachant que : R_1 = 10 kΩ, V_{ref} = 0,272 V, et $u_{s1} = 0{,}272 + 43{,}5 \cdot 10^{-3} \times v_{vib}$.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Partie D : analyse vibratoire de défauts. (2 points)

Lorsque le moteur fonctionne en sous-régime, donc à une vitesse inférieure à celle du fonctionnement nominal, il est possible que des phénomènes de résonance apparaissent, accentuant certains défauts. Des conséquences graves et irréversibles peuvent alors subvenir, comme une usure prématurée, une amplification du balourd et l'apparition de fissures. Ces phénomènes de résonance se traduisent par l'apparition de fréquences multiples de la fréquence de rotation.

Lors de l'utilisation à vitesse variable du moteur, il est réalisé une analyse spectrale présentée FIGURE 7 du signal u_{S2} qui nous donne différentes informations sur les vitesses de vibration.

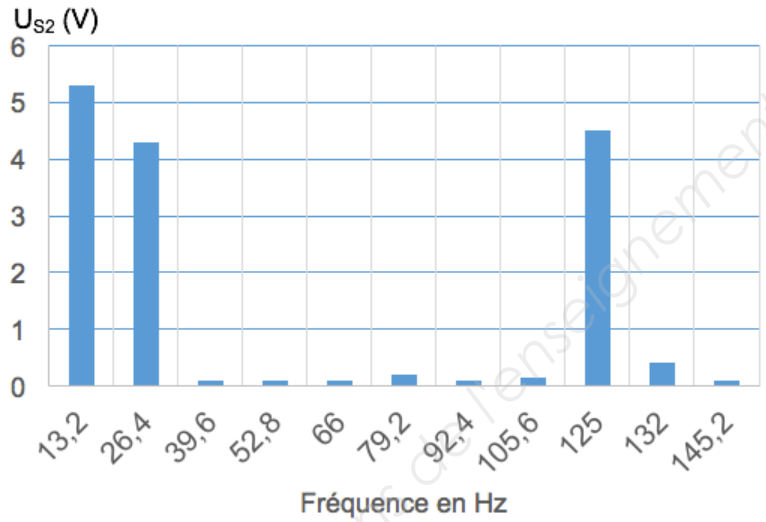


FIGURE 7

Une aide à l'analyse spectrale du signal u_{S2}, image de la vitesse de vibration V_{vib}, en fonction de la fréquence (Hz) est présentée en **ANNEXE 1 page 11** :

Q33. À partir du spectre obtenu **FIGURE 7**, déterminer la vitesse de rotation du moteur en tr·s^{-1}, puis en tr·min^{-1}.

Q34. À l'aide du spectre obtenu **FIGURE 7**, déterminer la fréquence du fondamental, ainsi que son amplitude. Cette raie indique-t-elle un défaut ?

Q35. Quel nom donne-t-on à la raie de fréquence f = 26,4 Hz, indique-t-elle un défaut ?

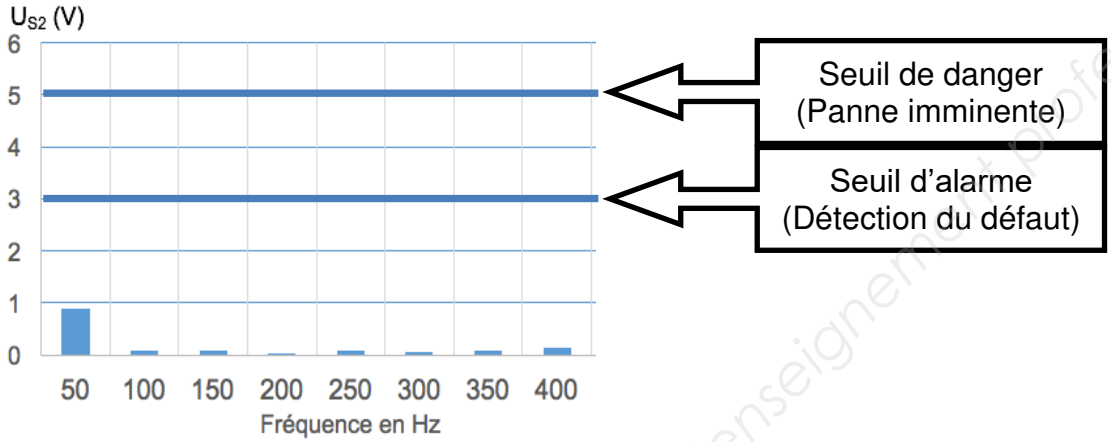
Q36. À partir du spectre obtenu expérimentalement et en vous aidant du tableau d'aide à la détection **page 12**, déterminer quels sont les défauts observés. Justifiez votre réponse.

Base nationale des sujets d'Examen de l'enseignement professionnel

ANNEXE 1

Aide à l'analyse spectrale du signal u_{S2}, image de la vitesse de vibration v_{vib}, en fonction de la fréquence (Hz).

Spectre normal sans intervention nécessaire, ni surveillance particulière, d'un moteur tournant à 50 $tr \cdot s^{-1}$.

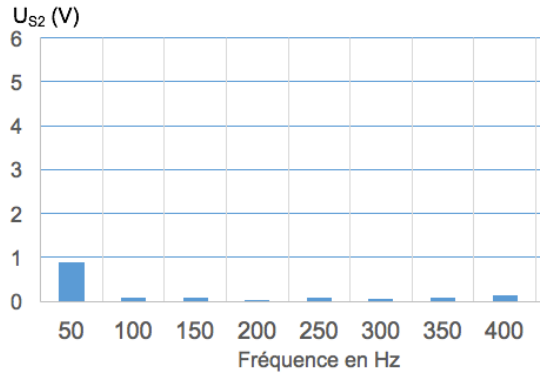
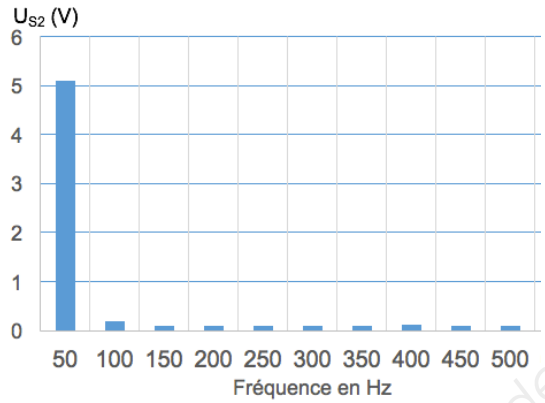
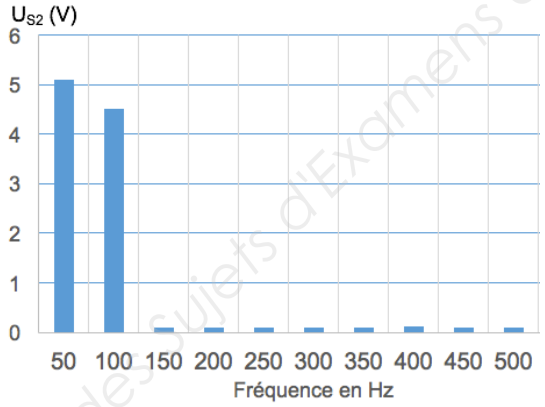
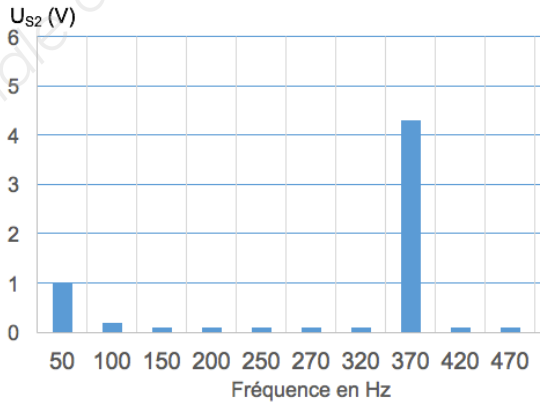


Signification des seuils :

- Si les raies sont inférieures au seuil d'alarme, aucune intervention n'est nécessaire.
- Seuil d'alarme atteint : le technicien est prévenu que l'état de la machine se dégrade, et qu'il faut prévoir une intervention de maintenance, mais sans arrêt immédiat de la machine, donc sans pénaliser la production.
- Seuil de danger atteint : le technicien est prévenu de la panne imminente. Une intervention rapide ou immédiate est nécessaire.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

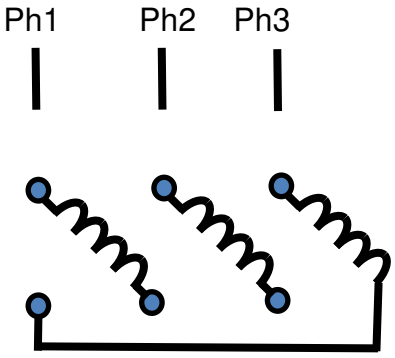
Tableau d'aide à l'analyse spectrale :

Analyse Spectrale sur machine tournant à 50 tr·s^{-1}	Défauts détectés
	Aucun défaut détecté
	Défaut de balourd
	Défaut d'alignement d'arbre
	Système avec défaut sur courroie de fréquence 370 Hz,

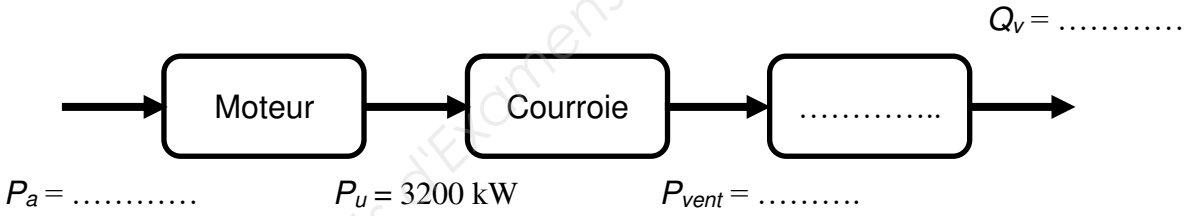
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

DOCUMENT RÉPONSE DR 1
À RENDRE AVEC LA COPIE

QUESTION Q4.



QUESTION Q6.



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

DOCUMENT RÉPONSE DR 2
À RENDRE AVEC LA COPIE

QUESTION Q11.

Schéma 1 ☐

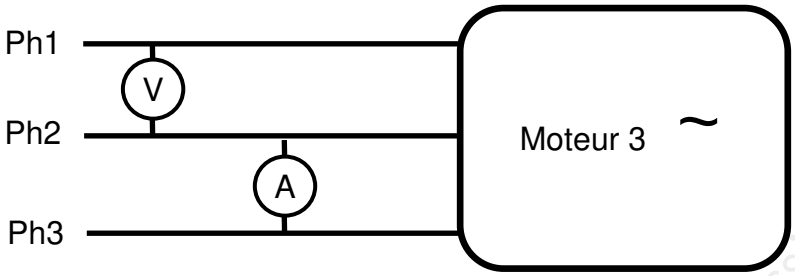


Schéma 2 ☐

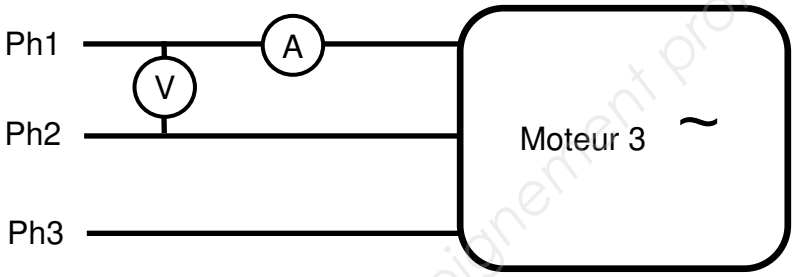


Schéma 3 ☐

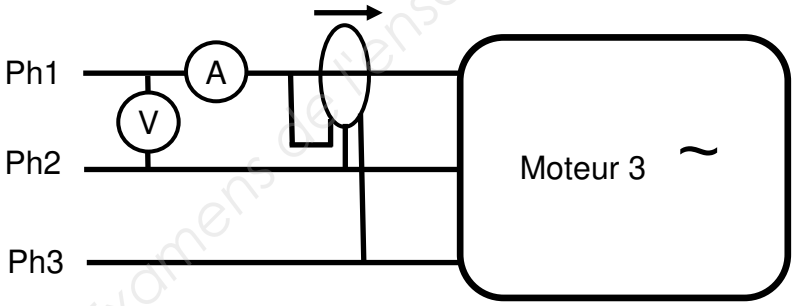


Schéma 4 ☐

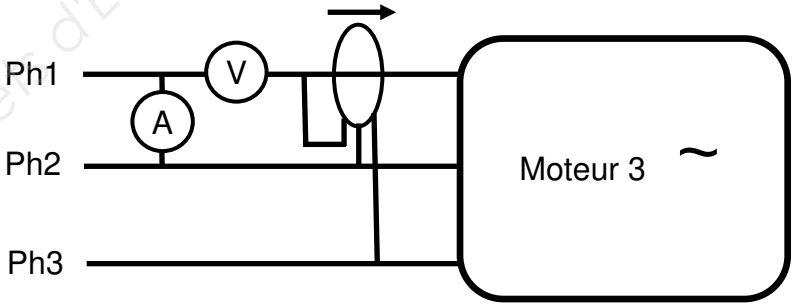
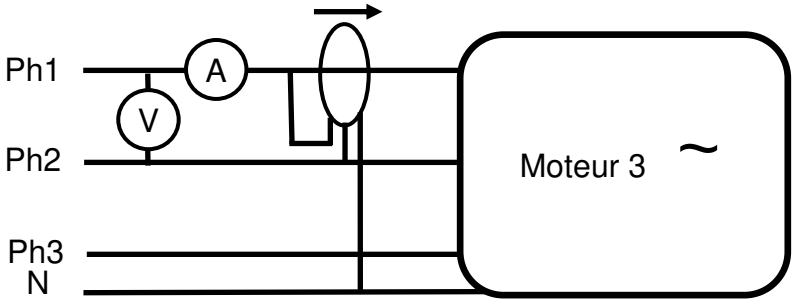


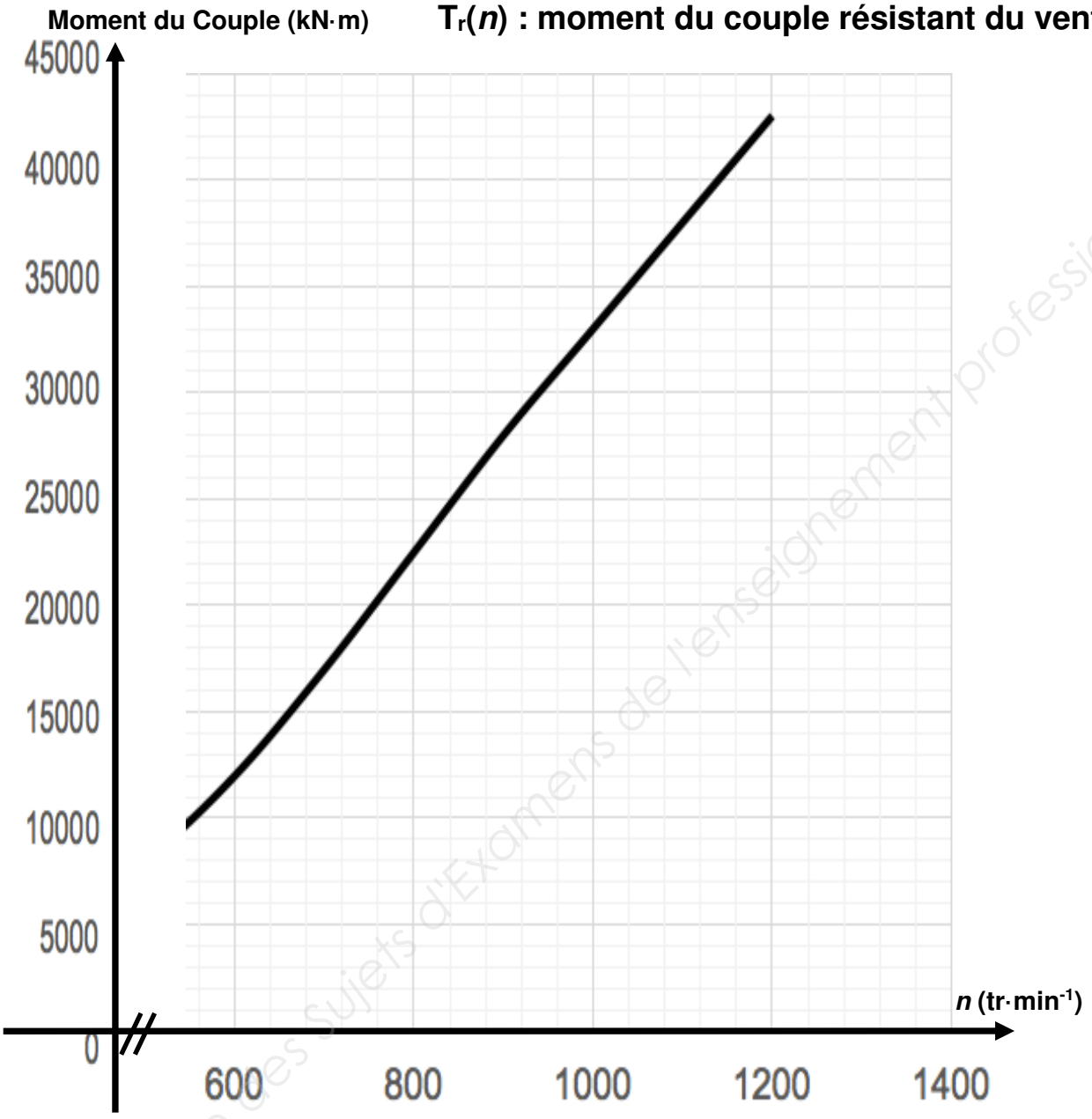
Schéma 5 ☐



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

DOCUMENT RÉPONSE DR3
À RENDRE AVEC LA COPIE

$T_r(n)$: moment du couple résistant du ventilateur



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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.