

Corrigé et barème E41 SESSION 2018 Arche de céramisation

PARTIE A - Étude thermique (22 %)	
Bilan thermique du chauffage des plaques	
1	Différence de température entre les extrémités de la zone n°1 de l'arche : $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = 600 - 25 = 575^\circ\text{C}$
2	Énergie calorifique nécessaire au chauffage de la plaque à céramiser avec son support : $Q_1 = m \cdot C_1 \cdot \Delta T = 65 \times 720 \times 575 = 27 \times 10^6 \text{ J}$
3	La production est de 14 plaques par heure, par conséquent : $Q_{h1} = N \cdot Q_1 = 378 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{h}^{-1} \text{ (1 pt)}$ La puissance en watts est obtenue en divisant la puissance horaire par 3600. $P_1 = \frac{Q_{h1}}{3600} = 105 \text{ kW (1pt)}$
4	La puissance installée (150 kW) est très largement supérieure à la puissance nécessaire pour le chauffage. Ce surcroît de puissance doit en effet permettre de compenser les pertes d'énergie. (1 pt) Il y a de nombreuses sources de pertes d'énergie. On peut citer par exemple : (1 pt) <ul style="list-style-type: none"> • La zone de chauffage n°1 n'est pas fermée. Il y a donc des fuites d'énergie thermique par l'ouverture de l'entrée de l'arche. • L'arche elle-même n'est pas parfaitement isolée. Il y a donc des pertes thermiques par les parois latérales de l'arche. • Le système d'entraînement des plaques a également une capacité calorifique, dont on n'a pas tenu compte.
Bilan thermique du refroidissement des plaques	
5	L'énergie thermique Q_2 cédée par la plaque est égale à l'énergie thermique reçue par la masse d'air m_1 . $Q_2 = m_1 \cdot C_{air} \cdot (\theta_{2air} - \theta_{1air})$ D'où $m_1 = \frac{Q_2}{C_{air} \cdot (\theta_{2air} - \theta_{1air})} = \frac{39,1 \times 10^6}{1004 \times (135 - 30)} = 371 \text{ kg}$
6	D'après la définition de la masse volumique : $\rho_{air} = \frac{m_1}{V_1} \Leftrightarrow V_1 = \frac{m_1}{\rho_{air}} = \frac{371}{1,17} = 317 \text{ m}^3$
7	Pour obtenir le débit volumique horaire d'air frais qui doit être soufflé, on doit multiplier le résultat précédent par la production horaire. $D_V = N \cdot V_1 = 14 \times 317 = 4,44 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
8	L'ensemble des deux ventilateurs permet le soufflage de $2 \times 8000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, soit $16 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, ce qui est très largement surdimensionné par rapport aux besoins de la nouvelle production. (1 pt) Toutefois il faut tenir compte du fait qu'il y a non seulement des pertes de charge dans les gaines de ventilation et qu'une partie de l'air soufflé s'échappe par l'ouverture de la sortie de l'arche. On peut cependant supposer que ces pertes ne nécessitent pas le fonctionnement à plein régime des ventilateurs. Dans cette hypothèse, il convient d'envisager un fonctionnement en sous-régime, par exemple en abaissant la fréquence d'alimentation des moteurs de 50 Hz à 30 Hz. (1 pt)

PARTIE B - Étude des résistances de chauffe (40 %)	
Bilan des puissances de l'alimentation de l'arche	
9	Les groupements de résistances de chauffages sont branchés entre deux phases différentes. Ils constituent donc un récepteur en triangle. La tension est donc $U = 400 V$.
10	Voir document réponse n°1. (1 pt par valeur de puissance) Les trois puissances ne sont pas égales donc le système est déséquilibré. (1 pt)
11	Dans une résistance, le courant et la tension sont proportionnels, d'après la loi d'Ohm, et sont donc en phase. Par conséquent, $\cos \varphi = 1$. $I = \frac{3 \times 200 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 866 A$
Étude d'un groupement de résistances	
12	Dans une branche, les résistances sont montées en série, donc : $R_{eq\ branche} = 4 \cdot R = 4 \times 2,5 = 10 \Omega$ (1 pt) Comme toutes les branches sont en dérivation : $R_{eq} = \frac{R_{eq\ branche}}{5} = 2 \Omega$ (1 pt)
13	D'après la loi d'Ohm : $I_1 = \frac{U}{R_{eq}} = \frac{400}{2} = 200 A$ (1 pt) Ainsi, la puissance vaut : $P = U \cdot I = 400 \times 200 = 80 kW$ (1 pt)
Détection d'une défaillance de résistance	
14	La résistance défaillante se comporte comme un circuit ouvert, donc seules 4 branches sont alimentées. Ainsi : $R'_{eq} = \frac{R_{eq\ branche}}{4} = 2,5 \Omega$ (1 pt) On calcule l'intensité d'après la loi d'Ohm : $I'_1 = \frac{U}{R'_{eq}} = \frac{400}{2,5} = 160 A$ (1 pt) Et la puissance : $P' = U \cdot I'_1 = 400 \times 160 = 64 kW$ (1 pt)
15	Il est possible de détecter cette défaillance en mesurant l'intensité du courant. (1 pt) Les plaques ne sont alors plus soumises à la température de cuisson normale et la production est alors défectueuse. (1 pt)
16	Dans ce cas, la résistance de branche défectueuse diminue, ce qui entraîne une augmentation de l'intensité dans cette branche. (1 pt) Cela peut se détecter sur l'alimentation du groupement de résistances. Les conséquences possibles sont alors : <ul style="list-style-type: none"> • Risque de destruction des trois autres résistances de la branche. • Surchauffe de l'installation. • Déséquilibre dans l'alimentation triphasée. (1 pt)
Réglage de la puissance d'alimentation des résistances	
17	Document réponse n°2
18	La lecture graphique donne un angle de phase de 80° .
19	Voir le document réponse n°3 A noter que l'angle de 80° est atteint pour $t = \frac{80}{360} \times 20 ms = 4,4 ms$. (1 pt)
20	La tension u_r est périodique mais n'est pas sinusoïdale. Comme la

	<p>charge est résistive, le courant dans la charge est proportionnel à u_r, ce courant est donc périodique et non sinusoïdal : il contient donc des harmoniques. Ainsi, le gradateur fait apparaître des harmoniques de courant dans le réseau.</p> <p>Pour éviter l'apparition de ces harmoniques de courant, on peut :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utiliser un filtre. • Utiliser un gradateur à train d'ondes.
--	---

PARTIE C - Régulation de la puissance de chauffage (18 %)

Détermination d'une constante de temps du système

21	<p>Attention l'échelon est de $600-25=575^\circ\text{C}$!</p> <p>Pour $t = \tau$, alors la température de la plaque est égale à $0,63 \times \Delta\theta_{four} = 0,63 \times 575 = 362^\circ\text{C}$ (1 pt) soit le point à $362+25=387^\circ\text{C}$</p> <p>Par lecture graphique, on lit $\tau = 1,8 \times 10^2\text{s} = 3\text{min.}$ (1 pt)</p>
22	<p>La température maximale, c'est à $600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ (c'est-à-dire 590°C en valeur basse) est atteinte à environ $t_{min} = 640\text{s} = 10,7\text{min.}$</p>
23	<p>La vitesse d'avancement maximale est donc :</p> $v_{max} = \frac{l_{zone}}{t_{min}} = \frac{3}{10,7} = 0,28\text{ m. min}^{-1}$ (1 pt)

Étude du capteur de température

24	<p>La caractéristique de la sonde est une droite qui passe par l'origine. Le coefficient directeur est donc :</p> $a = \frac{u_{th}}{\theta} = \frac{45,119}{1100} = 0,041\text{mV.}^\circ\text{C}^{-1}$
25	<p>Pour une précision de 2°C sur la mesure de θ, l'écart sur u_{th} est :</p> $\Delta u_{th} = 2 \times 0,041 = 0,082\text{ mV}$ (1 pt) <p>Le CAN de l'automate doit donc avoir une précision de l'ordre du μV. (0,5 pt)</p>

Étude de la boucle de régulation

26	<p>Voir le document réponse n°4. (0,5 pt par élément)</p>
27	<p>On se réfère à la courbe de l'annexe n°6.</p> <p>Température de consigne : $\theta_{cons} = 750^\circ\text{C}$</p> <p>Température maximale de la zone : $\theta_{max} = 745^\circ\text{C}$</p> <p>L'erreur statique est donc :</p> $\varepsilon_{stat} = 750 - 745 = 5^\circ\text{C}$ (1 pt) <p>Même si cette erreur statique semble acceptable, elle risque d'augmenter après le passage de plusieurs plaques et donc compromettre la production. Il est donc nécessaire de la corriger. (0,5 pt)</p>
28	<p>Pour $\tau_i = 1\text{s}$, il y a un dépassement important de la température de consigne.</p> <p>Pour $\tau_i = 2000\text{s}$, la température de cuisson n'est pas atteinte (pas de gain par rapport à P).</p> <p>Pour $\tau_i = 200\text{s}$, le dépassement est très faible et la température est stable lorsque la valeur de consigne est atteinte. On peut donc choisir cette valeur comme constante de temps d'intégration.</p>

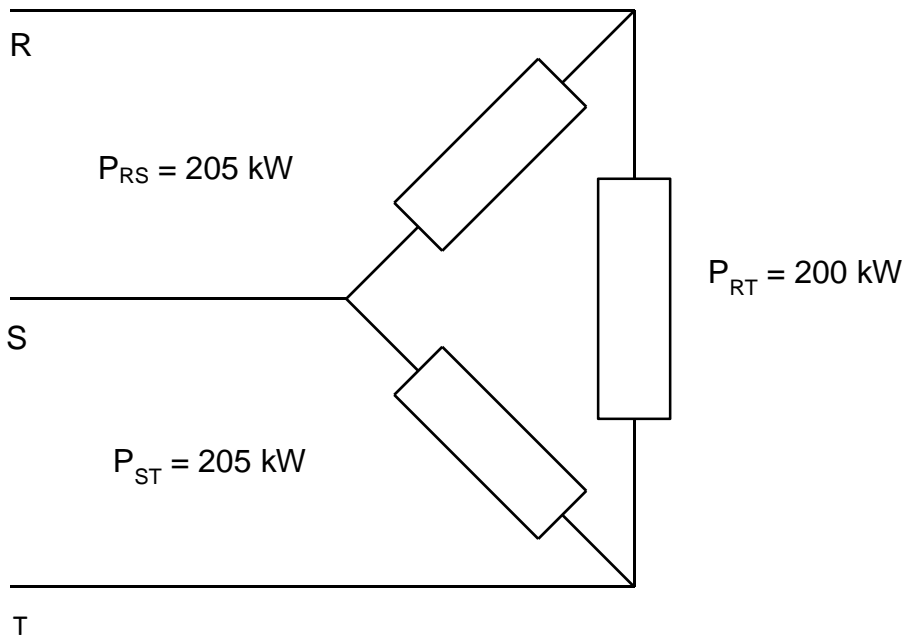
PARTIE D - Étude du moteur de ventilation de refroidissement (20 %)

Dimensionnement du ventilateur

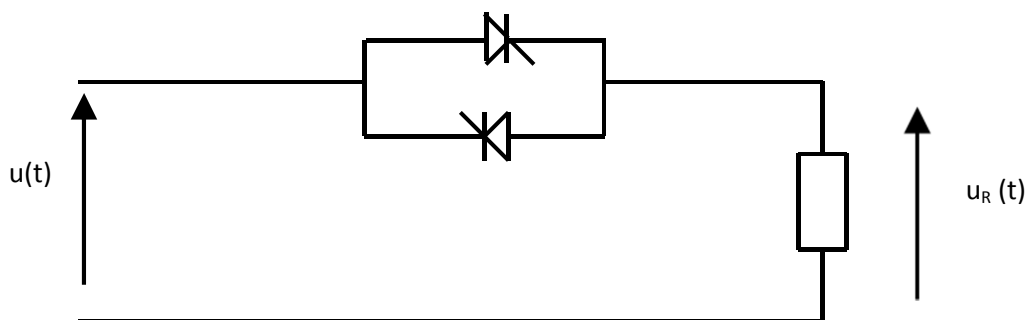
29	<p>Par hypothèse :</p> <ul style="list-style-type: none"> • $v_A = 0$. Ce terme disparaît. (0,5 t) • $z_A = z_B$. Les termes $\rho g z_A$ et $\rho g z_B$ se compensent. (0,5 pt) • A et B sont à pression atmosphérique donc p_A et p_B se compensent. (0,5 pt) <p>La relation de Bernoulli devient donc :</p> $\frac{P_{vent}}{D_{v\ max}} = \frac{1}{2} \rho v_B^2 \text{ (0,5 pt)}$
30	$D_{v\ max} = S \times v_B$
31	<p>On a :</p> $S = L \times l = 0,15 \text{ m}^2 \text{ (0,5 pt)}$ <p>Donc :</p> $v_B = \frac{D_{v\ max}}{S} = \frac{\left(\frac{8000}{3600}\right)}{0,15} = 14,8 \text{ m/s (1 pt)}$
32	<p>D'après l'expression donnée en Q29 :</p> $P_{vent} = \frac{1}{2} \rho v_B^2 \times D_{v\ max} = 0,5 \times 1,17 \times 14,8^2 \times \frac{8000}{3600} = 285 \text{ W}$
Étude du moteur du ventilateur de refroidissement	
33	Ns = 1500 tr/min, p = 2, g = 3,7 %
34	<p>On a :</p> $\frac{U}{f} = \frac{U_N}{f_N}$ <p>Donc :</p> $U = \frac{U_N \cdot f}{f_N} = \frac{400 \times 30}{50} = 240 \text{ V}$
35	<p>Voir le document réponse n°5.</p> <p>La lecture du point de fonctionnement doit se faire sur la courbe C(30 Hz). (1 pt)</p> <p>On lit sur le graphique : $C_u = 18 \text{ N.m}$ et $N = 880 \text{ tours/min}$ (0,5 pt)</p> <p>Sachant que $P_u = C_u \times \Omega$, alors :</p> $P_u = C_u \times \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} = 18 \times \frac{2 \times 3,14 \times 880}{60} = 1658 \text{ W}$
36	<p>La puissance P_u est très inférieure à la puissance nominale du moteur.</p> <p>On peut ajuster le débit et travailler à la puissance minimum nécessaire, ce qui permet une réelle économie d'énergie</p>

Document réponse n°1

Bilan de puissances de l'alimentation de l'arche

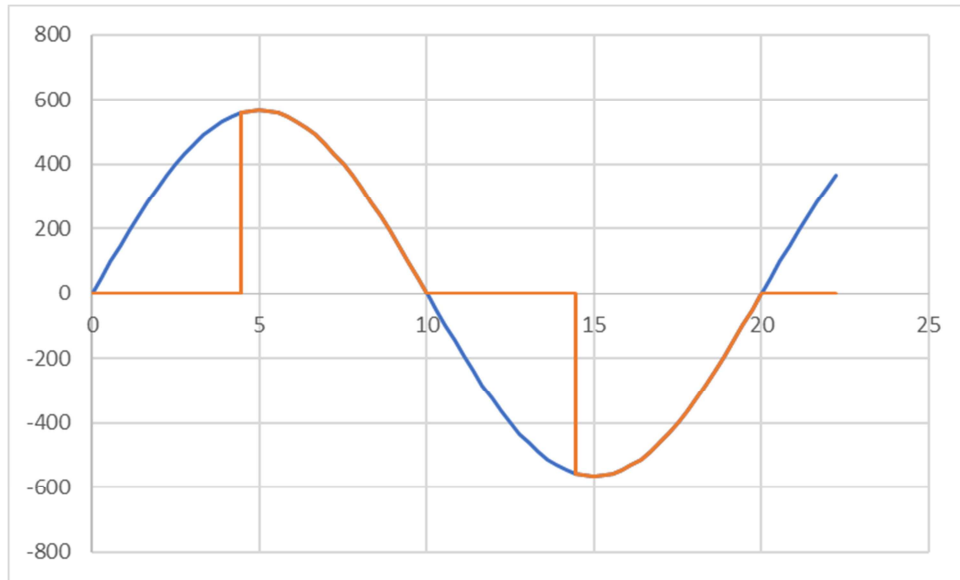


Document réponse n°2



Document réponse n°3

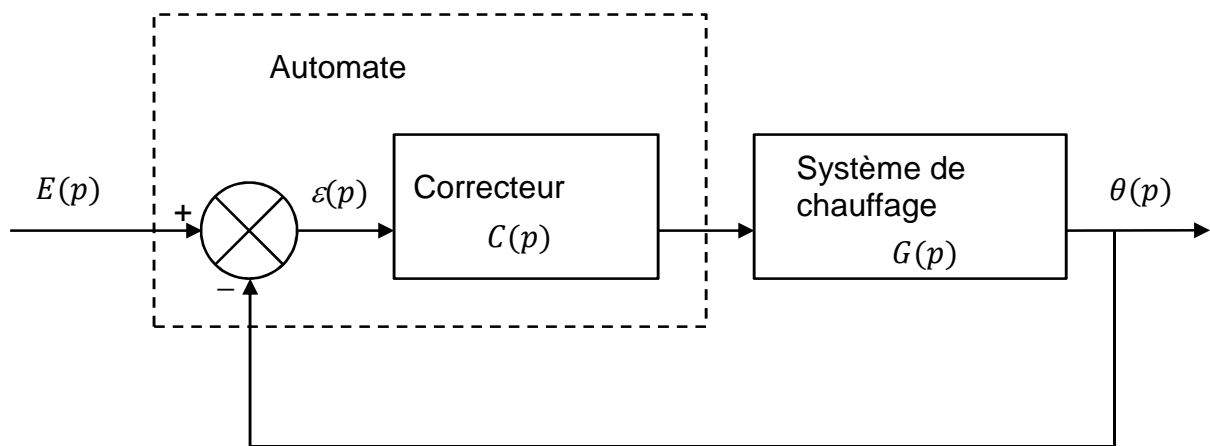
Tension aux bornes de la batterie de résistances



Tension représentée : U (en volts) en fonction du temps (en millisecondes)

Document réponse n°4

Boucle de régulation de la température de chauffage



Document réponse n°5

Courbes de couple du ventilateur

