

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR ÉLECTROTECHNIQUE

SESSION 2018

ÉPREUVE E4.2

## ARCHE DE CÉRAMISATION DE PLAQUES VITROCÉRAMIQUES



### PRÉSENTATION - QUESTIONNEMENT

Les quatre parties de l'épreuve sont indépendantes.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....	2
L'arche de céramisation.....	3
Enjeu et objectifs des sujets E4.1 et E4.2.....	5
QUESTIONNEMENT .....	6
Partie A : Faut-il changer les variateurs de vitesse ?.....	6
Partie B : Quelles sont les modifications suite au changement de la vitesse ?.....	8
Partie C : Quelle solution technique pour réduire le temps d'intervention ?.....	10
Partie D : Quel traitement de l'information pour réduire le temps d'intervention ?.....	12

# PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Installée sur l'un des plus anciens sites industriels de France (1752), à Bagneaux-sur-Loing (Seine-et-Marne), Keraglass, société amont d'Eurokera, fabrique du verre vitrocéramique pour les grands groupes de l'électroménager et les fabricants de cheminées et poêles de chauffage. Cette entreprise, née en 1992 d'un partenariat Franco-Américain à 50/50, est la propriété de Saint-Gobain et de Corning.



L'activité du site permet une production de 75 à 86 000 tonnes de verre par an, obtenues à partir de trois fours verriers dont la capacité unitaire est comprise entre 85 et 120 tonnes/jour. Cette production génère environ 33 000 tonnes de produits finis (plaques en vitrocéramique et inserts de cheminée) vendus aux clients finaux.

Le four de capacité 120 tonnes/jour est le plus grand four verrier du monde, avec un chauffage mixte gaz-électricité.



*Figure 1 : L'usine Keraglass de Bagneaux s'étend sur 66 000 m<sup>2</sup>*

Une plaque de vitrocéramique est élaborée à partir de matières premières dont beaucoup sont importées de pays lointains sous la forme de sables spéciaux et souvent chargés en lithium. Jusqu'à dix-huit composants sont nécessaires pour produire de la vitrocéramique.

Le mélange de matières premières est introduit à l'intérieur des fours afin de le transformer en plaques de verre appelées « green glass ». Celles-ci deviendront vitrocéramiques après le processus de céramisation consistant en un traitement thermique très particulier (voir figure 2).

Ce traitement thermique va permettre d'obtenir une structure organisée au matériau lui offrant ainsi les propriétés principales de la vitrocéramique : une résistance mécanique élevée et une dilatation nulle sous des températures extrêmes (700°C).

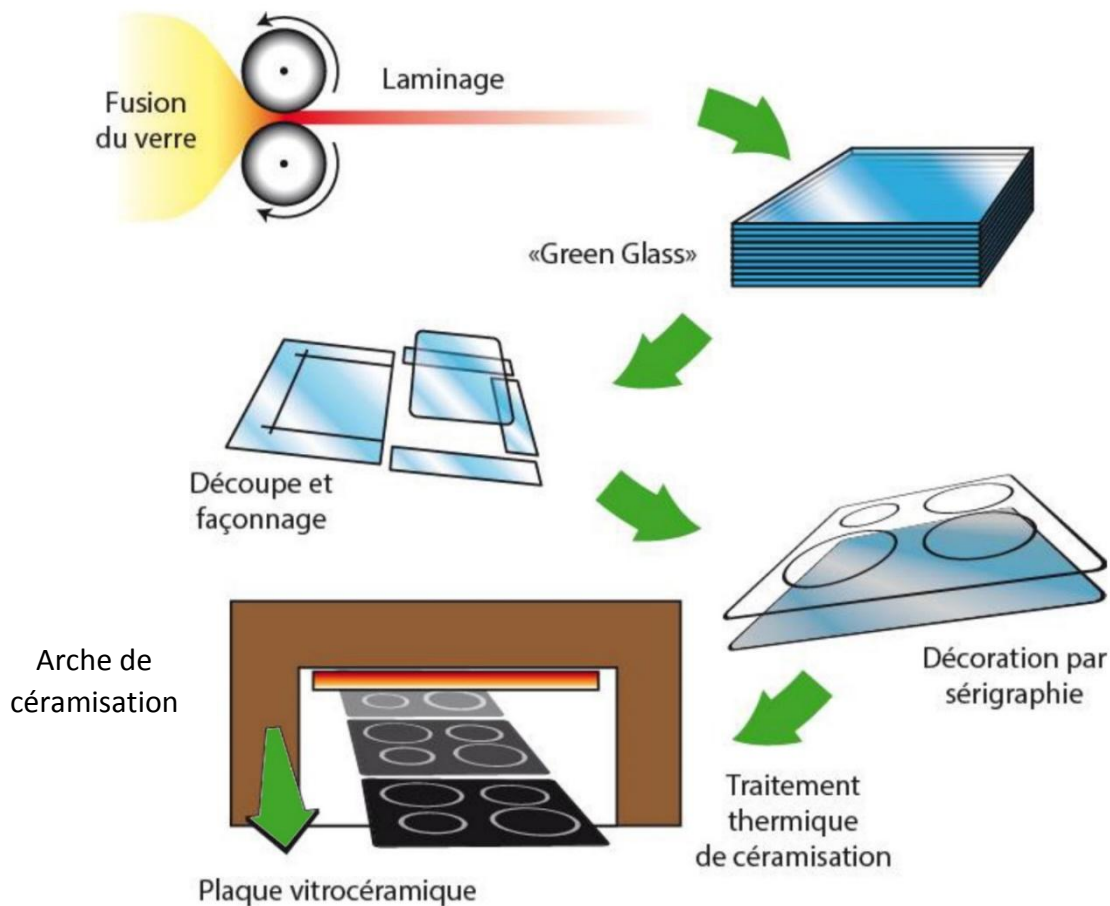


Figure 2 : Procédé de fabrication et de finition de la vitrocéramique

## L'arche de céramisation



À la sortie des fours, l'entreprise dispose de plusieurs arches de céramisation, dont la plus récente permet de céramiser des vitres d'insert de cheminée, pliées ou bombées, grâce à son ouverture de 1100 x 550 mm.

Cette arche, avec sa puissance de chauffe de 610 kW, autorise une vitesse d'avance nominale des plateaux porte vitre de 0,18 m/min.

Plateau porte vitre à l'entrée de l'arche



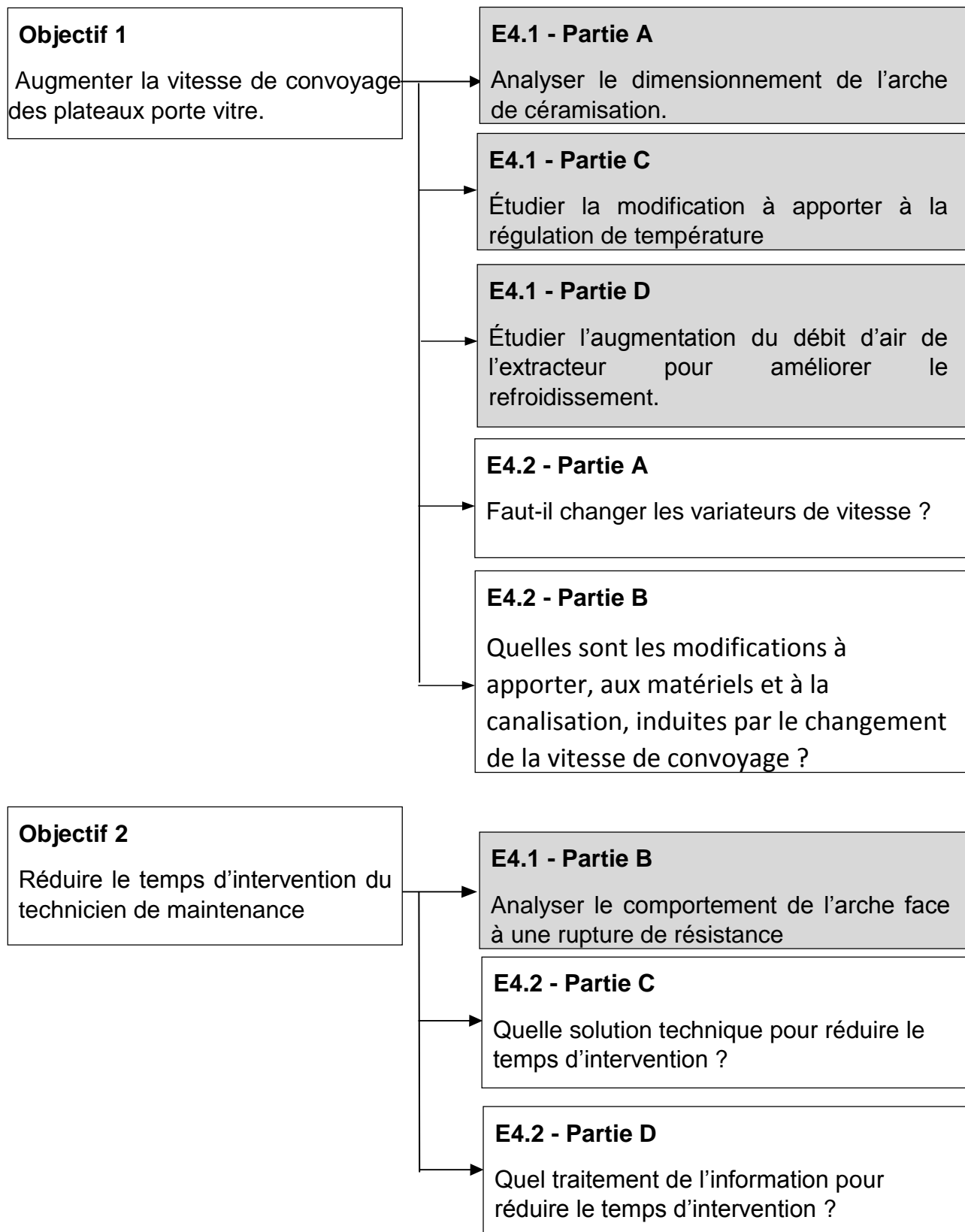
Afin d'augmenter la capacité de production, l'entreprise envisage d'augmenter la vitesse de convoyage des « plateaux porte vitre ». Ce choix doit prendre en considération le traitement thermique que doivent subir les plaques dans différentes zones (11 zones). Pour chaque zone, le procédé consiste à porter la vitre à une température donnée durant un certain temps. Nous allons étudier les conséquences de l'augmentation de la vitesse de convoyage sur la température des plaques dans chaque zone. Cette contrainte nécessite de changer les résistances chauffantes et conduit à une étude économique. L'augmentation de la puissance de chauffe implique de vérifier que l'appareillage est adapté à cette nouvelle contrainte.

Le contrôle qualité se fait en sortie de l'arche et le technicien, en charge de ce contrôle, constate parfois qu'une plaque n'a pas reçu un traitement thermique adéquat. L'expérience montre que l'origine de cet incident porte sur la rupture d'une branche où se trouvent les résistances chauffantes. Cela modifie le traitement thermique dans la zone touchée et entraîne la mise au rebut des plaques se trouvant dans l'arche. Cette panne survient plusieurs fois dans l'année.

Un technicien de maintenance effectue un dépannage qui peut nécessiter un arrêt de plusieurs heures de l'outil de production avant de repérer la branche en défaut. Une pré étude est conduite afin de détecter des écarts de courants dans les zones de chauffe. Cette analyse conduit à la mise en place d'une chaîne de mesure pour repérer rapidement la zone en défaut.

## Enjeu et objectifs des sujets E4.1 et E4.2

L'enjeu pour l'entreprise est d'optimiser sa capacité de production. Elle envisage d'augmenter la vitesse d'avance des plateaux porte vitre et de réduire le temps d'intervention du technicien lors d'un arrêt de production.



**Le barème de notation des parties A, B, C et D représente respectivement 20 %, 30 %, 30 %, 20 % de la note totale.**

## QUESTIONNEMENT

Partie A : Faut-il changer les variateurs de vitesse ?

### Contexte

Le document DTEC1 présente le synoptique de l'arche et le convoyeur qui transporte les « plateaux porte vitre ». Ces « plateaux porte vitre » sont transportés à travers l'arche par des rouleaux entraînés par des galets (voir DTEC2). Un motoréducteur asynchrone est accouplé à un galet qui entraîne les autres par l'intermédiaire de la chaîne. Chaque motoréducteur est associé à un variateur de vitesse. L'ensemble qui vient d'être décrit forme un « groupe de transmission ». Le convoyeur est composé de 23 « groupes de transmission ».

L'entreprise a choisi d'augmenter la vitesse de convoyage des « plateaux porte vitre » de 0,18 m/min à 0,23 m/min.

Vous rechercherez la nouvelle consigne en fréquence qui doit être appliquée à chaque variateur pour tenir compte de la nouvelle vitesse de convoyage.

Par ailleurs, la fréquence de découpage de l'onduleur des variateurs est la cause d'un sifflement désagréable pour le confort du personnel.

Vous êtes sollicité par l'ingénieur qui vous demande de mener une étude : il souhaite savoir si les variateurs actuels permettent encore le bon fonctionnement de l'installation, s'il est possible d'éliminer ce sifflement désagréable, s'il est nécessaire d'investir dans de nouveaux variateurs de vitesse.

Données :

- la vitesse linéaire avant modification : 0,18 m/min ;
- la vitesse linéaire après modification : 0,23 m/min ;
- les rouleaux en céramique ont un diamètre 100 mm ;
- les galets d'entraînement ont un diamètre de 90 mm ;
- les caractéristiques du motoréducteur sont : 0,55 kW,  $I_n = 1,62$  A, de vitesse nominale 1420 tr/min pour 50 Hz, ayant un rapport de réduction de 1/525 ;
- les variateurs de vitesse, de référence ATV 312H055N4, sont alimentés en triphasé 400 V et présentent une fréquence de découpage de 4 kHz.

Spécifications pour variateur (voir DRES2) :

- l'installation des variateurs est faite selon le montage C ;
- la température du local où sont installés les variateurs est estimée à 60 °C ce qui implique un déclassement ;
- une fréquence de découpage d'au moins 8 kHz éliminerait le sifflement désagréable.

## Informations complémentaires

Il est rappelé que la vitesse linéaire d'un objet en mouvement est liée à la vitesse de rotation angulaire de la roue qui le déplace par la relation :

$$v = \omega \times R$$

Avec

$v$  : vitesse linéaire en m/s

$\omega$  : vitesse de rotation angulaire en rad/s

$R$  : rayon de la roue d'entraînement en m

*Documents nécessaires pour cette partie :*

↗ Dossier technique : DTEC1 et DTEC2

↗ Dossier ressource : DRES1 à DRES2

- A.1. Détermination de la fréquence de consigne à appliquer à chaque variateur.
- A.1.1. Calculer la vitesse de rotation angulaire des rouleaux en céramique, pour une vitesse d'avance de 0,18 m/min.
  - A.1.2. Calculer la vitesse de rotation angulaire des galets d'entraînement en rad/s.
  - A.1.3. Calculer la vitesse de rotation du moteur asynchrone en tr/min.
  - A.1.4. La vitesse de rotation du moteur étant proportionnelle à la fréquence imposée par le variateur, déterminer alors sa valeur en hertz (Hz).
  - A.1.5. Calculer la nouvelle consigne de fréquence à donner aux variateurs pour atteindre la vitesse en ligne de 0,23 m/min.
- A.2. Étude sur les variateurs
- A.2.1. Donner, en vous justifiant, la valeur du courant que peut délivrer le variateur ATV 312H055N4 lorsque la fréquence de découpage est de 4 kHz.
  - A.2.2. Donner, en vous justifiant, la valeur du courant que peut délivrer le variateur ATV 312H055N4 lorsque la fréquence de découpage est de 8 kHz.
  - A.2.3. Rédiger un message à l'ingénieur en argumentant votre réponse à sa demande (revoir le « Contexte »).

## Partie B : Quelles sont les modifications suite au changement de la vitesse ?

### Contexte

La céramisation du verre nécessite de respecter scrupuleusement des étapes de mise en température des plaques pendant des durées précises. Pour conserver un traitement thermique efficace, l'augmentation de la vitesse de convoyage doit s'accompagner d'une augmentation de la température afin que le ratio température/temps soit respecté.

Une solution, pour augmenter de façon significative la puissance de chauffe, serait de changer toutes les résistances chauffantes de l'arche (Voir DTEC3) : on estime que ce changement de résistances doit conduire à une augmentation de la puissance de chauffe de près de 40 % par rapport à la puissance actuelle de 610 kW.

Une étude est conduite pour vérifier les modifications à apporter aux appareils de protection (QF1U, Q1 et Qg1) et à la canalisation C1.

Hypothèses pour mener l'étude :

- nous nous plaçons dans les conditions nominales où toutes les résistances de toutes les zones sont alimentées à pleine puissance ;
- la puissance de chauffe de chaque zone sera augmentée de 38 % par rapport à la puissance actuelle (voir DTEC4) ;
- les résistances de la partie chauffage sont réparties équitablement sur les trois phases : la charge du jeu de barres « triphasé 2 » est équilibrée ;
- le facteur de puissance au niveau du jeu de barres « triphasé 1 » est égal à 1 ;
- la partie motorisation consomme un courant de 195 A (voir DTEC3) ;
- les conducteurs sont posés de manière symétrique : facteur de correction  $K_s = 1$ .
- Les puissances mises en jeu par les départs « auxiliaires 1 » et « auxiliaires 2 » sont négligeables devant les puissances de chauffe et de motorisation.

Données :

- la canalisation C1 actuelle est constituée de 4 câbles unipolaires de section 300 mm<sup>2</sup> par phase, en cuivre, isolés au polyéthylène réticulé. Ils sont posés en **2 couches** superposées sur des échelles à câble. La température ambiante peut atteindre 60°C ;
- la canalisation C1 a une longueur de 55 m ;
- le disjoncteur Qg1 (Masterpact + Micrologic 2.0 A, capteur 1600 A) est réglé à 1120 A ;
- le disjoncteur Q1 (Masterpact + Micrologic 2.0 A, capteur 1000 A) est réglé à 900 A.



*Documents nécessaires pour cette partie :*

↗ *Dossier technique : DTEC3 et DTEC4*

↗ *Dossier Ressource : DRES3 à DRES7*

↗ *Dossier Réponses : DREP1 à DREP4*

**B.1 Étude des appareils de protection si on augmente la puissance de chauffe**

B.1.1. Calculer le courant qui traversera un pôle du disjoncteur QF1U.

B.1.2. Calculer le courant qui traversera un pôle du disjoncteur Q1.

B.1.3. Calculer le courant qui traversera un pôle du disjoncteur Qg1.

B.1.4. Compléter le document réponse DREP1 afin de récapituler les caractéristiques du disjoncteur Qg1.

B.1.5. Compléter le document réponse DREP2 afin de récapituler les caractéristiques du disjoncteur Q1.

B.1.6. Compléter le document réponse DREP3 afin de récapituler les caractéristiques du disjoncteur QF1U.

B.1.7. Indiquer les réglages ( $I_o$  et  $I_r$ ) à effectuer sur le disjoncteur QF1U ( $I_{sd}$  sera fixé à 1215 A).

**B.2 Étude de la canalisation C1 si on augmente la puissance de chauffe**

On considère désormais que le courant d'emploi de la canalisation C1 est égal à 1410 A.

B.2.1. Montrer que la canalisation C1 ne permet plus d'alimenter l'arche.

B.2.2. Proposer, en vous justifiant, une solution en choisissant une nouvelle section de câble et en conservant 4 câbles par phase.

B.2.3. Compléter le document réponse DREP4 afin d'estimer le coût de la modification.

## Partie C : Quelle solution technique pour réduire le temps d'intervention ?

### Contexte

Le contrôle qualité des plaques se fait en sortie de l'arche et le technicien, en charge de ce contrôle, constate parfois qu'une plaque n'a pas reçu le traitement thermique adéquat. L'expérience montre que l'origine de cet incident porte sur la rupture d'une branche où se trouvent les résistances chauffantes. Cela modifie le traitement thermique dans la zone touchée et entraîne la mise au rebut des plaques se trouvant dans l'arche. Cette panne survient plusieurs fois dans l'année.

Un enregistreur de puissance, voir DTEC5, permet de mesurer la puissance consommée et les temps d'arrêt. Une panne a été enregistrée le 22 janvier 2017, un arrêt de la production de plusieurs heures est observé car le technicien de maintenance ne trouve pas la demi-zone en dysfonctionnement.

La solution envisagée est de mesurer l'écart entre le courant réel consommé dans chaque demi-zone (voir DTEC 4) et le courant théorique. Le système de traitement de l'information devra être capable d'indiquer un défaut dans une demi-zone (Partie D) ce qui réduira le temps de recherche de la panne.

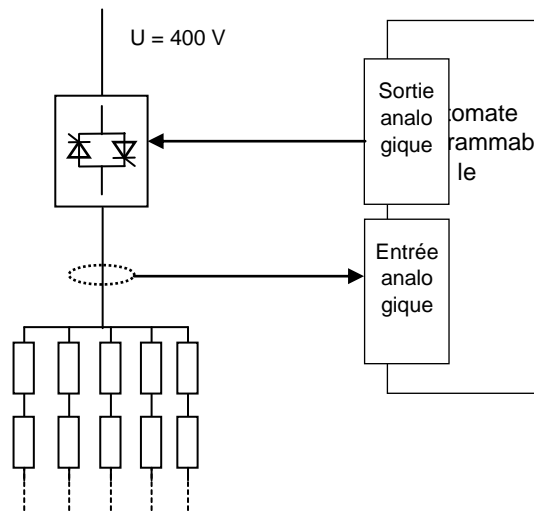


Figure 1 Synoptique de la modification

Une étude sera menée pour choisir les constituants du dispositif de mesure du courant dans chaque demi-zone. Il s'agira ensuite d'estimer l'économie générée par ce dispositif.

Hypothèse : la panne observée le 22 janvier 2017 est représentative des pannes au cours de l'année.

Données techniques :

- l'automate est de type S7-1500, CPU 1511. Il est constitué de 3 modules de 8 sorties analogiques 6EF7 532-5HF00 destinés à la commande par boucle de courant 4 - 20 mA des 22 gradateurs de puissance ;
- les modules 6EF7 532-5HF00 sont implantés à partir de l'emplacement 4 ;
- les modules d'entrées analogiques à choisir seront implantés à partir de l'emplacement 7 ;
- chaque gradateur est de type **angle de phase** ; il est piloté par une sortie analogique d'un module 6EF7 532-5HF00 ;
- les ruptures de branche(s) représentent en moyenne 2,5 pannes par an.

Données économiques (tous les prix sont des prix Toutes Taxes Comprises) :

- les transducteurs de courant (tous modèles confondus) sont vendus 152 € ;
- la mise en œuvre de la solution de mesure nécessite du matériel consommable pour environ 200 € ;
- l'étude de la modification est estimée à 2500 € ;
- le temps passé par le technicien de maintenance est évalué à 50 €/heure ;
- le prix des modules analogiques 6ES7 531-7KF... : 712 € ;
- le prix des modules analogiques 6ES7 531-7NF... : 887 € ;
- la fourniture en énergie électrique est facturée 70 €/MWh à l'entreprise.

Spécifications :

- les transducteurs de mesure sont choisis dans la gamme LEM ;
- il faut ajouter des modules d'entrées analogiques à l'automate.

*Documents nécessaires pour cette partie :*

- ↗ Dossier technique : DTEC4 et DTEC5
- ↗ Dossier Ressource : DRES8 à DRES11
- ↗ Dossier Réponses : DREP5 à DREP8

## C.1 Étude du dispositif de mesure

- C.1.1. Choisir, en vous justifiant, l'une des deux références du transducteur de courant.
- C.1.2. Compléter le document réponse DREP5 en indiquant le type de transducteur et le courant primaire permettant la meilleure précision.
- C.1.3. Choisir, en vous justifiant à partir de vos connaissances technologiques et du prix, la référence et le nombre de modules d'entrées analogiques de l'API.
- C.1.4. Compléter, sur le document réponse DREP6, les liaisons à établir entre la mesure d'intensité CM1U et son module d'entrée.
- C.1.5. Compléter, le document réponse DREP6, les liaisons à établir entre la commande du gradateur SC1U et le module de sortie. Veiller à établir les liaisons afin que tous les modules analogiques représentés soient correctement alimentés.

## C.2 Étude économique

- C.2.1. Compléter le bilan des dépenses à engager pour réaliser la modification sur le document réponse DREP7.
- C.2.2. D'après le document technique DTEC5, calculer l'énergie consommée sans production entre le moment où la panne survient et le moment où la production peut reprendre.
- C.2.3. Compléter le document réponse DREP8 afin d'estimer le coût annuel lors d'un arrêt de production (hors coûts de réparation et de remise en service, hors étude).
- C.2.4. Calculer le temps de retour sur l'investissement réalisé.
- C.2.5. Rédiger un paragraphe en faisant une analyse critique de cette étude économique.

## Partie D : Quel traitement de l'information pour réduire le temps d'intervention ?

### Contexte

Le contrôle qualité des plaques se fait en sortie de l'arche et le technicien, en charge de ce contrôle, constate parfois qu'une plaque n'a pas reçu un traitement thermique adéquat. L'expérience montre que l'origine de cet incident porte sur la rupture d'une branche où se trouvent les résistances chauffantes. Cela modifie le traitement thermique dans la zone touchée et entraîne la mise au rebut des plaques se trouvant dans l'arche.

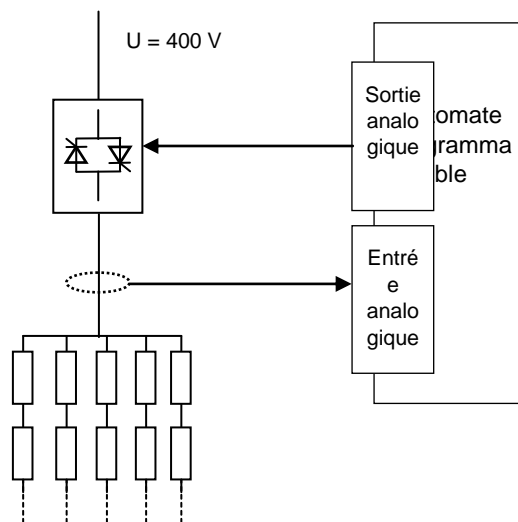
Une solution serait de comparer l'écart qui existe entre le courant mesuré dans une demi-zone (Partie C) et le courant théorique. Le système de traitement de l'information devra être capable de signaler une rupture de branche.

Un premier algorithme (voir DTEC7) illustre le principe retenu pour détecter une rupture de branche. Un second algorithme (voir DTEC8) traduit le premier (DTEC7) dans le « langage automate ».

Une situation où deux branches dans une demi-zone étaient coupées, s'est déjà produite. Le technicien, non informé, n'a réparé qu'une seule branche puis la production a repris ce qui n'est pas acceptable.

Le synoptique ci-après est le même pour chaque demi-zone. Le nombre de branches dépend de la demi-zone considéré.

La mesure de  $I$  se fait par le capteur de courant qui transmet son information à l'automate via l'entrée analogique. L'automate commande le gradateur en imposant l'angle  $\alpha$  via la sortie analogique.



	Transducteur	
	$I_{\text{nominal}}$	$I_{\text{max}}$
Zone 1 sole	270	300
Zone 1 voute	270	300
Zone 2 sole	120	150
Zone 2 voute	120	150

Hypothèse : la valeur du courant mesuré devrait être égale à chaque instant, cas idéal, au courant théorique (calculé). Les essais conduits permettent de considérer que la valeur du courant mesuré est toujours inférieure ou égale au courant théorique.

Données :

- les calculs se font sur des nombres réels contenus dans des double-mots (mots composés de 4 octets, soit 32 bits) ;
- chaque double mot porte un préfixe %MD dans l'automate ;
- 5 branches pour la zone 1 sole et voute ;
- 3 branches pour la zone 2 voute.

Affectation des variables automate utilisées :

	Zone 1 voûte (SC1U)	Zone 1 sole (SC1D)	Zone 2 voûte (SC2U)	...	Zone 8 sole (SC8D)
Entrée analogique mesure de I	%AI2	%AI4	%AI8	...	%AI144
Mise à l'échelle du courant (en A)	%MD40	%MD70	%MD100	...	%MD670
Angle de phase $\alpha$ exprimé en radian	%MD20	%MD50	%MD80	...	%MD650
Doubles mots internes utilisés pour les calculs	%MD24	%MD54	%MD84	...	%MD654
	%MD28	%MD58	%MD88		%MD658
	%MD32	%MD62	%MD92		%MD662
Courant calculé par le programme (en A)	%MD36	%MD66	%MD96	...	%MD666
Bit témoignant d'une demi-zone en défaut	%M10.0	%M10.1	%M10.2	...	%M12.5
Double mot contenant tous les bits de défauts	} %MD10				

Avant dernière ligne ci-dessus : un bit dont la valeur est à 1 signale un défaut.

### Informations complémentaires

La relation qui existe entre le courant théorique  $I_{th}$  qui traverse la charge et l'angle  $\alpha$ , en radian, d'une structure à gradateur par angle de phase est donnée par

$$I_{th} = I_{nominal} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}}$$

*Documents nécessaires pour cette partie :*

- ↗ *Dossier technique : DTEC6 à DTEC9*
- ↗ *Dossier Réponses : DREP9 à DREP11*

#### D.1. Étude d'une situation particulière

Situation considérée : l'étude porte sur l'algorithme de la voute de la zone 1 (Voir DTEC8). Le gradateur fournit 70 % de la puissance maximale aux résistances ; la variable %AI2 a pour valeur numérique 20275.

- D.1.1. Déterminer, voir DTEC6, la valeur placée dans le double mot %MD20.
- D.1.2. Déterminer la valeur placée dans le double mot %MD40.
- D.1.3. Déterminer la valeur placée dans le double mot %MD36.
- D.1.4. Donner, en vous justifiant, la valeur du bit %M10.0.

#### D.2. Étude des autres cas

- D.2.1. Compléter le document réponse DREP9 en convertissant la valeur hexadécimale en base 2. Préciser, sur votre copie, la (ou les) zone(s) en défaut sur l'arche.
- D.2.2. Compléter le document réponse DREP10, en langage automate, de la sole de la zone 1.

Le document technique DTEC9 donne un algorithme qui illustre le principe qui permet de détecter deux défauts dans une demi-zone.

- D.2.3. Compléter le document réponse DREP11 pour traduire l'algorithme en « langage automate » dans le cas de la voute de la zone 2.