

Brevet de Technicien Supérieur ÉLECTROTECHNIQUE

Epreuve d'Avant-Projet

**DUREE : 8 heures 30 min.
dont 30 min de repas sur place**

COEFFICIENT : 2

"Four de traitement thermique"

Constitution du sujet

- | | |
|---|------------------------|
| ♦ PRESENTATION DE L'AVANT-PROJET | pages 1 à 3 |
| ♦ DOSSIER DE QUESTIONNEMENT | pages 4 à 12 |
| ♦ FEUILLES REPONSES | pages 1 à 18 |
| ♦ CAHIER TECHNIQUE : | |
| - documentation système | documents 1 à 8 |
| - documentation technique | D.T 1 à D.T 13 |

Rédiger uniquement sur les feuilles réponses.

Apporter le plus grand soin à la rédaction de votre travail, notamment aux représentations graphiques (schémas, grafcet) ; il en sera tenu compte dans la notation.

"Four de traitement thermique"

Présentation de l'avant-projet

PRÉSENTATION DE LA LIGNE MERCURE

La présente étude concerne la rénovation d'un four de traitement thermique. Ce four permet de rendre malléables des tôles en alliage d'aluminium avant formage sur presse.

Environnement du four :

Ce four est situé sur la ligne de production Mercure (voir document 1). Une autre ligne parallèle, plus petite, dénommée Mars (Four n° 2) a quasiment les mêmes fonctions. Tous les déplacements se font grâce à un chariot filoguidé (repère C.F.G.). Ce chariot supporte un ensemble constitué d'un palonnier sur lequel repose la tôle à traiter. Il se déplace sur la zone de filoguidage (repère Z.F.G.). La supervision des fours et du chariot se fait à partir de la cabine de contrôle (repère S).

Organisation générale de la production :

(voir document 1)

Un cycle de façonnage des tôles comprend les étapes suivantes :

- déstockage d'une tôle du magasin (repère M) et mise en place sur le palonnier, dans l'aire de préparation,
- transfert vers le lieu de transbordement du Four n° 1 (repère C) grâce au chariot filoguidé,
- le chariot filoguidé, libéré de sa charge, peut effectuer d'autres opérations demandées par la supervision,
- transfert de la tôle ayant déjà subi le traitement thermique vers les postes de formage (presse de 1500, 500 et 250 tonnes),
- décharge des postes de formage vers la zone de finition,
- enfin, récupération de la tôle traitée (repère D) pour transfert vers la zone de stockage.

CODE : EQAVP	QUESTIONNAIRE	BTS ÉLECTROTECHNIQUE - AVANT-PROJET	SESSION 2002
--------------	---------------	-------------------------------------	--------------

Organisation générale d'un cycle de chauffe :
(voir document 1, document 2 et document 3)

Mise en place de l'équipage chariot, palonnier, tôle sous le four :

Le palonnier est amené chargé de sa tôle, grâce au chariot filoguidé, sur l'aire de transbordement du four (repère C). Il quitte alors le chariot filoguidé pour venir se placer sur le chariot porte palonnier (repère C.P.P).

Le système se déplace sous le four. Il est guidé par deux rails, de part et d'autre de la fosse de trempe, et mu par deux moteurs asynchrones.

Mise en place de la tôle dans le four :

Le four peut être scindé en deux demi laboratoires par une porte séparatrice.

L'accès au four se fait par le bas et 4 demi portes (2 par demi laboratoire) assurent la fermeture du four.

Le cycle thermique est réalisé soit dans un demi laboratoire soit en regroupant les deux demi laboratoire pour en réaliser un grand.

Selon que l'on travaille avec une petite ou une grande tôle, la taille du palonnier n'est pas la même.

Pour une petite tôle, seul un demi laboratoire suffit : A ou B. Un seul treuil est donc nécessaire : A ou B. On peut ainsi réaliser deux traitements thermiques séparés et différents.

Pour une grande tôle, la porte séparatrice est montée. Les demi portes d'ouverture des deux demi laboratoires sont mécaniquement solidaires. Elles s'ouvrent et se ferment en même temps.

Les deux treuils A et B sont nécessaires. Ils sont synchronisés afin que le palonnier reste horizontal.

Le chariot porte palonnier (C.P.P) est évacué en zone de déchargement (repère D) ou repart en zone de chargement (repère C) si besoin est, pour aller chercher une autre petite tôle.

Les demi portes s'ouvrent. Le treuil descend ses crochets à mi-hauteur. Le déplacement du système sous le four permet l'accrochage du palonnier. Le palonnier portant la tôle remonte ensuite dans le four.

Pour une grande tôle, ce sont les deux treuils qui agissent ensemble.

Durée du traitement :

Les demi portes se ferment et le traitement thermique peut commencer.

La durée du traitement est gérée par la supervision. Elle dépend des dimensions de la tôle.

À la fin du temps de chauffe, la tôle peut subir une trempe.

Trempe :

Les demi portes s'ouvrent et le palonnier descend à grande vitesse car la tôle doit plonger dans la fosse de trempe en moins de 7 s. La course de la descente est égale à 10,18 m.

Évacuation :

Après la trempe, le palonnier portant la tôle est remonté à **mi hauteur** avec une vitesse plus faible qu'en descente. Le chariot porte palonnier revient sous le four. Un mouvement combiné du système sous le four et du treuil permet le décrochage du palonnier. Le treuil remonte ses crochets dans le four, puis les demi portes se ferment. La tôle est évacuée ensuite en zone de déchargement.

Description technique du four n° 1

Volumes utiles de chargement :

	Laboratoire entier	Demi laboratoire
Longueur	10 200 mm	2 fois 4 800 mm
Largeur	1 800 mm	1 800 mm
Hauteur	3 200 mm	3 200 mm

Masse des charges à traiter et à manutentionner :

	Laboratoire entier	Demi laboratoire
Pièces maxi à traiter	1200 kg	2 fois 600 kg
Charge maxi y compris palonnier et outillage	2700 kg	2 fois 1500 kg

Caractéristiques thermiques :

Puissance de chauffe	6 fois 120 kW
Température de chauffe max	$\theta = 590 \text{ }^\circ\text{C}$
Montée en température	$T_m = 4 \text{ heures}$

Autres équipements électriques :

Désignation	Puissance absorbée unitaire	Quantité
Ventilateur de recyclage	30 kW	6
Ventilateur de refroidissement	5 kW	1
Moteur de porte	10 kW	2
Ensemble treuil de levage : moteur treuil, ventilateur moteur et frein treuil.	75 kW	2
Moteur chariot de transfert	3 kW	2
Moteur cloison amovible	3 kW	1
Moteur pompe à eau	18 kW	1
Divers	5 kW	1

"Four de traitement thermique"

ÉTUDE (Questionnaire)

Travail demandé : *répondre uniquement sur les feuilles réponses.*

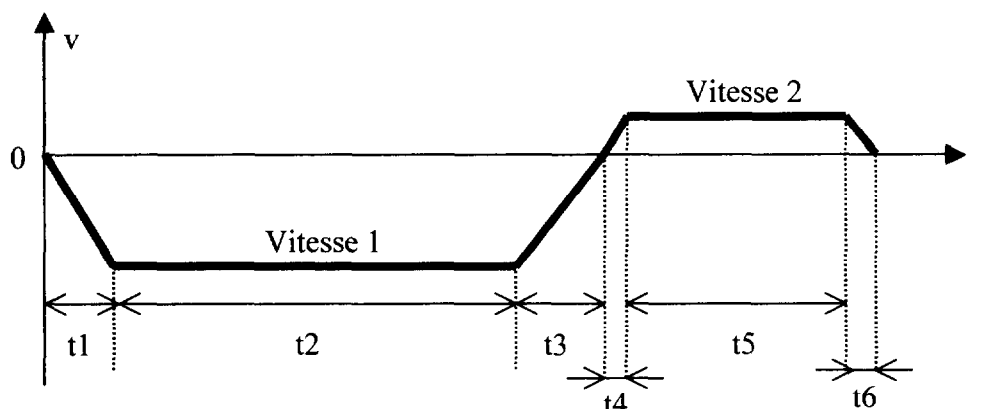
A - MOTORISATION DES TREUILS DE LEVAGE

En vue d'une rénovation du four, il faut remplacer les moteurs des treuils du palonnier, moteurs à courant continu de 53 kW, par des moteurs asynchrones.

On s'intéressera par la suite à un seul des deux treuils.

On désire vérifier si un moteur asynchrone de 55 kW à 4 pôles (gamme Leroy Somer) convient.

L'étude sera effectuée avec le cycle vitesse suivant qui comprend 6 phases de fonctionnement :



Vitesse 1 = $-2,5 \text{ m.s}^{-1}$; Vitesse 2 = $0,2 \text{ m.s}^{-1}$; |accélération| = $3,5 \text{ m.s}^{-2}$; |décélération| = 3 m.s^{-2}

QA-1 : Afin de compléter le cahier des charges, indiquer à quoi correspondent les 6 phases de fonctionnement du cycle vitesse ci-dessus. (*répondre sur la feuille réponse 1*)

QA-2 : Nous devons vérifier que le système sera capable de descendre le palonnier en moins de 7 s, afin de réussir dans les meilleures conditions la trempe des tôles d'aluminium. En utilisant le cycle vitesse ci-dessus, calculer le temps de descente du palonnier. Conclure. (*répondre sur la feuille réponse 1*)

Dans la *feuille réponse 1*, on vous propose la démarche pour calculer le temps de descente. A cet effet, on note :

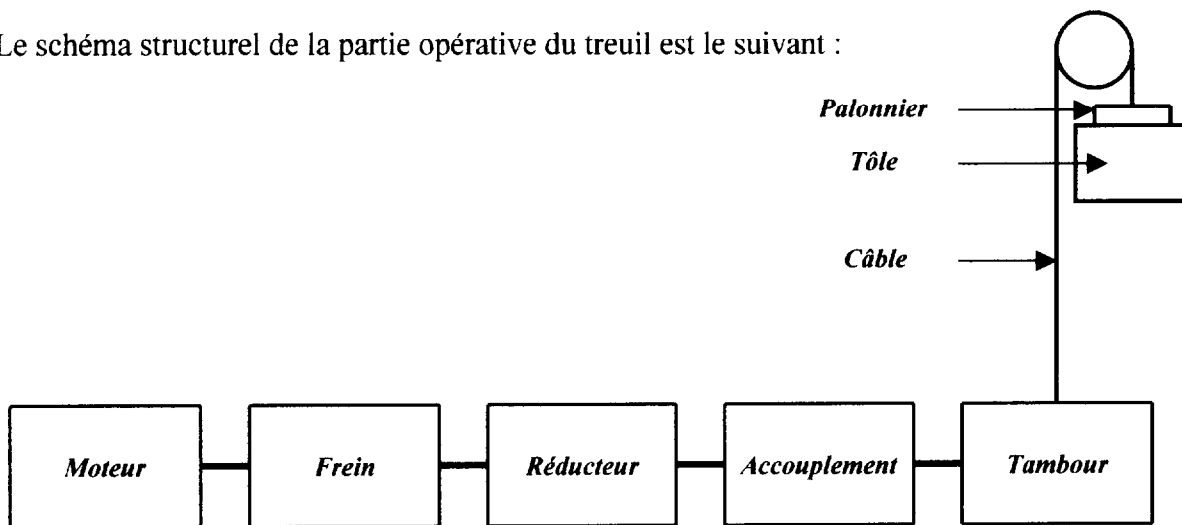
x_1 : course négative parcourue pendant t_1	a_{t1} : accélération durant t_1
x_2 : course négative parcourue pendant t_2	a_{t2} : accélération durant t_2
x_3 : course négative parcourue pendant t_3	a_{t3} : accélération durant t_3

De plus, l'origine du déplacement vertical est prise en position haute dans le four.

Enfin, la course totale entre le four et la fosse de trempe : $x_1 + x_2 + x_3 = -10,18 \text{ m}$.

Choix du moteur.

Le schéma structurel de la partie opérative du treuil est le suivant :

**Données :**

Charge maximale à soulever par le palonnier : $M = 1500 \text{ kg}$

Vitesse de déplacement maximale de la charge : $v = 2,5 \text{ m.s}^{-1}$

Rayon d'enroulement du câble sur le tambour : $R_t = 0,25 \text{ m}$

Rapport de réduction du réducteur (vitesse moteur / vitesse tambour) : $k = 15,1$

Inertie estimée du moteur : $J_{\text{mot}} = 0,75 \text{ kg.m}^2$

Inertie équivalente de l'ensemble constitué par le tambour, l'accouplement, le réducteur et le frein ramené sur l'arbre moteur : $J_{\text{eq}} = 0,08 \text{ kg.m}^2$

Accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

QA-3 : Calculer la valeur absolue de la fréquence de rotation maximale du moteur en tr.mn^{-1} .
(répondre sur la feuille réponse 2)

QA-4 : Calculer l'accélération du moteur dans chacune des 6 phases de fonctionnement.
(répondre sur la feuille réponse 2)

Dans une première approche, nous voulons évaluer le couple moteur nécessaire pour chacune des 6 phases de fonctionnement. Dans ce premier calcul nous négligerons les rendements.

QA-5 : Soient C_{rs} le couple en sortie du réducteur (côté tambour) et C_{req} le couple équivalent ramené sur l'arbre moteur.
Donner l'expression littérale de C_{rs} en fonction de M , de R_t , de g , et de l'accélération linéaire du palonnier a_t .
Donner ensuite l'expression littérale de C_{rs} en fonction de M , de R_t , de g , de k et de l'accélération angulaire du moteur θ'' .
Donner enfin l'expression littérale de C_{req} en fonction de C_{rs} et de k .
(répondre sur la feuille réponse 3)

Quels que soient les résultats de la question QA-4, nous prendrons pour accélération angulaire du moteur les valeurs données dans le tableau de la feuille réponse 4.

CODE : EQAVP	QUESTIONNAIRE	BTS ÉLECTROTECHNIQUE - AVANT-PROJET	SESSION 2002
--------------	---------------	-------------------------------------	--------------

QA-6 : Compléter le tableau de *la feuille réponse 4*, en calculant pour chacune des 6 phases de fonctionnement :

- le couple en sortie du réducteur
- le couple équivalent ramené sur l'arbre moteur
- le couple moteur

QA-7 : Pour quelle phase de fonctionnement du tableau de la question précédente le couple moteur est-il maximum ? Donner sa valeur.
On notera ce couple **C_{max}**. (*répondre sur la feuille réponse 5*)

Nous allons maintenant déterminer le couple moteur maximal en tenant compte du rendement.

Deux cas de fonctionnement se présentent : - 1^{er} cas, la charge entraîne le moteur,
- 2^{ème} cas, le moteur entraîne la charge.

QA-8 : À quel cas de fonctionnement correspond le couple moteur maximal ?
(*répondre sur la feuille réponse 5*)

QA-9 : Donner l'expression littérale du couple équivalent ramené sur l'arbre moteur C_{req} , en fonction du rendement η , du rapport de réduction k et du couple de sortie C_{rs} .
 η : rendement de l'ensemble de la chaîne cinématique,
compris entre l'entrée du réducteur (côté moteur) et la charge.
(*répondre sur la feuille réponse 5*)

QA-10 : Le rendement η vaut 0,75. Calculer le nouveau couple moteur maximum C_{max} .
(*répondre sur la feuille réponse 5*)

On envisage, pour remplacer le moteur existant, de choisir dans la gamme Leroy Somer un moteur asynchrone 4 pôles LS 250 MP de 55 kW.

QA-11 : Relever dans la documentation Leroy Somer (*D.T.1*) le couple nominal C_N de ce moteur et en déduire son couple maximal C_M . (*répondre sur la feuille réponse 6*)

QA-12 : On a déjà fait le calcul du couple thermique équivalent à l'aide du document *choix d'un moteur asynchrone en cycle intermittent (D.T.2 à D.T.4)*. Il vaut : $C_{th} = 313$ Nm (on a tenu compte de l'échauffement du moteur dû au passage du courant magnétisant).
Toujours à l'aide de ce document, conclure en justifiant le choix du moteur retenu.
(*répondre sur la feuille réponse 6*)

QA-13 : En étudiant le plan de la motorisation du treuil du palonnier (*document 4*), vérifier si le moteur choisi peut s'adapter sur le support actuel. Celui-ci doit-il être modifié ?
Justifier votre réponse. (*répondre sur la feuille réponse 6*)

B - VARIATEUR ASSOCIÉ AU MOTEUR DU TREUIL DE LEVAGE

(voir *D.T.1 à D.T.6*)

Le moteur choisi est : LS250MP, 55 kW, 4 pôles.

On donne, sur la *feuille réponse 7*, les valeurs de couple calculées en tenant compte du rendement pour les six phases de fonctionnement décrites dans la question QA-1.

QB-1 : Compléter la *feuille réponse 7*

- en relevant dans le cahier technique :
 - le couple nominal C_N et le couple maximal C_M du moteur
 - le courant nominal I_N et le $\cos\phi_N$ du moteur
- puis en calculant pour chaque phase de fonctionnement :
 - le courant moteur I_i

remarque : le moteur est alimenté en permanence durant les 6 phases.

QB-2 : Calculer le courant thermiquement équivalent I_{th} .
(répondre sur la *feuille réponse 8*)

QB-3 : Choisir en le justifiant le variateur de vitesse du moteur asynchrone dans la série UMV 4301 de Leroy Somer.
(répondre sur la *feuille réponse 8*)

QB-4 : Quel(s) processus de commande peut-on envisager pour assurer les périodes de fonctionnement à vitesse nulle.
Indiquer les conséquences sur le choix du variateur.
(répondre sur la *feuille réponse 8*)

C - RÉSISTANCE DE FREINAGE et CÂBLES MOTEUR

Afin de bénéficier d'une marge de sécurité suffisante, on décide d'utiliser le variateur UMV4301 75T, préconisé par le constructeur pour un moteur de 55 kW.

Le variateur choisi ne permet pas de renvoyer dans le réseau l'énergie récupérable lors de la descente, comme cela était le cas précédemment (MCC + PD3 tout thyristor tête bêche).

Cette énergie est dissipée dans une résistance de freinage.

On désire vérifier si cette perte énergétique représente un coût important.

QC-1 : Calculer l'énergie potentielle restituée par la charge lors d'une descente, en supposant le rendement de la chaîne cinématique égal à 1.

Calculer sa valeur en € sur une journée de travail de 24 heures sachant que le kWh coûte globalement 0,1 € (abonnement et taxes inclus). On se base sur un maximum de 2 cycles par heure.

Conclure.

(répondre sur la feuille réponse 9)

On désire dimensionner la résistance de freinage.

(voir *D.T.7 et D.T.8*)

En tenant compte du rendement, la résistance doit dissiper 115,6 kJ lors d'une descente.

Pour calculer la puissance de la résistance, il faut prendre en compte la durée totale du cycle (descente suivie d'une montée). Cette durée est d'environ 30 s.

Pour choisir la résistance, il faut aussi tenir compte de la puissance maximale P_{MAX} à dissiper lors du cycle. Cette puissance apparaît au début de la décélération en descente.

Le calcul donne $P_{MAX} = 58,74$ kW.

QC-2 : Justifier le choix de la résistance RF22500T.

(répondre sur la feuille réponse 9)

Le constructeur du variateur recommande l'utilisation d'un relais thermique pour protéger la résistance. Il donne la valeur du courant de réglage du relais thermique.

QC-3 : Choisir le relais thermique et préciser le réglage.

(répondre sur la feuille réponse 10)

On a besoin de dimensionner les câbles reliant le moteur au variateur de vitesse.

QC-4 : Calculer la section du câble alimentant le moteur du treuil.

Données : câble multiconducteurs, PR, cuivre, posé jointif avec un autre câble en simple couche sur des tablettes non perforées, 45°C (voir *D.T.9 et D.T.10*).

On prendra les intensités nominales préconisées pour le variateur UMV4301 75T.

(répondre sur la feuille réponse 10)

D - GESTION DU MOUVEMENT DE LEVAGE

On souhaite, lors du changement de motorisation, conserver la structure de l'automatisation existante (voir document 3).

L'automate donne la consigne de vitesse au variateur, via une sortie analogique en tension. La loi d'évolution de cette consigne est générée par la carte d'axe implantée dans l'automate. Le contrôle se fait par un codeur incrémental fixé sur le treuil, différent de celui utilisé pour le variateur.

L'automate gère intégralement la commande du frein. Le variateur lui donne l'information indiquant que le couple moteur est suffisant pour libérer le frein à manque de courant.

Il faut préciser que l'on demande au système de contrôler l'évolution de la charge, frein desserré, jusqu'à la vitesse nulle.

Le variateur est configuré comme suit : (voir les schémas des feuilles réponse 11, 12 et 13)

- sorties et entrées analogiques configurées en -10V/+10V
- borne 24 : information variateur en marche (KCFA alimenté lorsque le variateur est en marche)
- borne 27 : marche (1) / arrêt (0) variateur
- borne 29 : défauts extérieurs (défauts autres que ceux détectés par le variateur)
- borne 25 : effacement défauts (défauts extérieurs et défauts détectés par le variateur)
- borne 30 : déverrouillage variateur
- relais interne : variateur sans défaut interne ou extérieur (KA0 alimenté quand ce relais est fermé)

Les affectations automate sont les suivantes :

I1.1	retour KMA	Q4.1	marche / arrêt variateur
I1.2	retour KVA	Q4.2	défauts extérieurs
I1.3	retour KFA	Q4.3	effacement défauts variateur
I1.4	contact KA0 dont la bobine est activée par le relais interne du variateur	Q4.4	déverrouillage variateur
I1.5	KCFA (variateur en marche)	Q4.5	KFA (contacteur frein)
I1.6	fdcFA : contact treuil desserré	Q4.6	KA1 (contacteur auxiliaire à KMA)
		Q4.7	KVA (contacteur ventilateur)
IW2.0	image vitesse	QW3.0	sortie vitesse
IW2.1	image couple	MW1	mot interne contenant la valeur du couple moteur nécessaire pour maintenir la charge sans frein
M1	bit interne activant le programme de la carte d'axe	M2	bit interne activé par la carte d'axe à la fin du cycle vitesse

L'automate va gérer les défauts extérieurs.

L'automate mettra sous tension le variateur (alimentation de KA1) bien avant l'activation du sous programme de levage.

Le sous programme de levage doit suivre l'évolution décrite ci-dessous :

- alimenter KVA.
- quand KVA est effectivement activé, donner un ordre de marche au variateur.
- le couple moteur croît rapidement et quand celui-ci dépasse une valeur programmée **MW1**, alimenter le frein à manque de courant. Cette alimentation est autorisée si le relais interne du variateur est fermé (d'où KA0 activé), et si KMA et KCFA sont activés.
- quand le frein est effectivement desserré (fdcFA ouvert), le sous programme de gestion du levage lance le programme de la carte d'axe en mettant le bit interne **M1** à 1.
- la carte d'axe informe le sous programme de gestion du levage que le cycle vitesse est terminé en faisant passer le bit interne **M2** à 1.
- quand le cycle est terminé et que la vitesse est effectivement nulle, cesser d'alimenter le frein.
- quand le frein est serré, donner un ordre d'arrêt au variateur.
- quand le variateur est effectivement en arrêt (KCFA désactivé), continuer d'alimenter le ventilateur pendant 10 s.
- la fin du sous-programme est obtenue après désactivation effective de KVA.

QD-1 : Compléter les schémas :

- TREUIL A : PUISSANCE *(feuille réponse 11)*
- TREUIL A : COMMANDE 1/2 *(feuille réponse 12)*
- TREUIL A : COMMANDE 2/2 *(feuille réponse 13)*

remarque : La consigne vitesse issue de l'automate (QW3.0) est dirigée vers une entrée différentielle du variateur (bornes [ref. vitesse +] et [ref. vitesse -]).

QD-2 : Rédiger le GRAFCET du sous-programme de levage, d'un point de vue automate.
(répondre sur la feuille réponse 14)

QD-3 : A partir du GEMMA de l'ensemble four (voir cahier technique), compléter le GRAFCET de conduite de l'ensemble sur la *feuille réponse 15*.

QD-4 : Définir les procédures dans le GEMMA (A1, A2, ..., D1, D2, ..., F1, F2, ...) qui feront appel au sous-programme de levage.
(répondre sur la feuille réponse 15)

E - AUGMENTATION DE L'ÉCLAIRAGE AUTOUR DU FOUR

On désire augmenter l'éclairage (source incandescente) autour du four. Actuellement, on utilise l'éclairage général de l'atelier. La première idée consiste à utiliser le transformateur du four existant.

Il faut vérifier si une marge de puissance est disponible sachant que l'éclairage supplémentaire sera inférieur à 10 kVA.

QE-1 : Rédiger le bilan de puissance puis conclure en évaluant la puissance apparente disponible au niveau du transformateur 15 kV/380 V , 1 MVA.

Le coefficient de simultanéité global est de 0,83.

Hormis les résistances dont le $\cos \varphi = 1$, le $\cos \varphi$ des autres éléments sera pris égal à 0,8.

(répondre sur la feuille réponse 16)

L'utilisation de gradateurs à train d'ondes, servant à alimenter les résistances du four, peut entraîner une gêne visuelle pour les utilisateurs.

Cette gêne est appelée **phénomène de flicker**. Elle est due au **scintillement des sources lumineuses** (voir D.T.12).

La courbe de flicker donne l'amplitude maximale admissible de la chute de tension de l'alimentation de l'éclairage en fonction du nombre de variations de cette chute de tension par minute.

Ce qui permet de déduire le nombre maximum admissible de variations par minute d'une chute de tension donnée.

Ainsi, à chaque cycle de train d'ondes, il y a deux variations de la chute de tension (comme dans le cas d'une soudeuse par point présentée en exemple D.T.12).

Quand le gradateur ne laisse pas passer le courant, la chute de tension Δu due aux résistances est nulle.

Quand le gradateur laisse passer le courant , la chute de tension Δu due aux résistances apparaît.

QE-2 : Calculer la chute de tension au niveau du jeu de barres B0, et plus précisément au niveau de l'interrupteur sectionneur Q1 (voir document 5), lorsque toutes les résistances chauffantes du four sont alimentées de manière synchrone, en ne tenant pas compte des autres consommateurs.

Données :

- résistance phase réseau HT ramenée côté BT : $R_Q = 0,032 \text{ m}\Omega$
- réactance phase réseau HT ramenée côté BT : $X_Q = 0,317 \text{ m}\Omega$
- résistance phase transformateur : $R_T = 2,961 \text{ m}\Omega$
- réactance phase transformateur : $X_T = 9,074 \text{ m}\Omega$
- câbles reliant le transformateur au jeu de barres (C0) : 2 câbles par phase, en cuivre, monoconducteurs, de section pour chaque câble égale à 500 mm^2 , isolant PR, posés jointifs en nappe, de longueur $L = 15 \text{ m}$.

(répondre sur la feuille réponse 17)

QE-3 : Pour cette chute de tension, définir le nombre maximum de variations par minute pour éviter la gêne du phénomène de flicker.

Définir alors la période minimale du cycle de train d'ondes que doivent délivrer les gradateurs pour éviter la gêne du phénomène de flicker.

(répondre sur la feuille réponse 17)

On donne la documentation sur les gradateurs de la série TC2000 (voir D.T.13).

QE-4 : Quelle est la période minimale du cycle de train d'ondes que peuvent délivrer ces gradateurs ? Conclure.

(répondre sur la feuille réponse 18)

QE-5 : Quelle chute de tension permettrait d'éviter la gêne du phénomène de flicker en conservant ces gradateurs ? Peut-on obtenir cette chute de tension en modifiant les longueurs ou les sections des câbles C0 ?

(répondre sur la feuille réponse 18)

QE-6 : Proposer une solution technologique pour assurer l'éclairage à partir du jeu de barres existant.

(répondre sur la feuille réponse 18)