

# **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**

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

**Rédiger uniquement sur les feuilles réponses.**

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

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

## **"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.

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

### 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.**

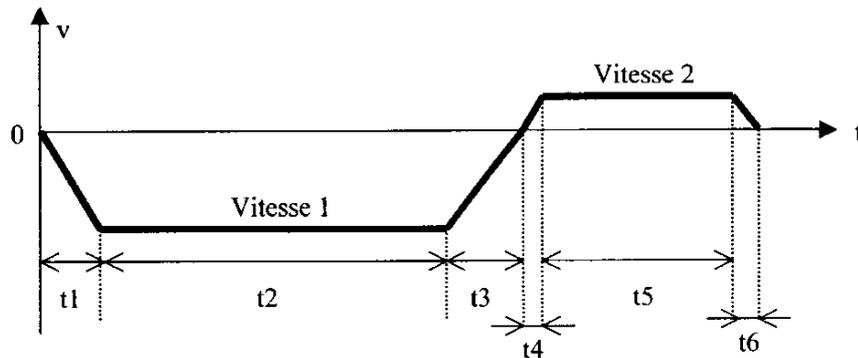
### A - MOTORISATION DES TREUILS DE LEVAGE

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| =  $3 \text{ m.s}^{-2}$

**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 :

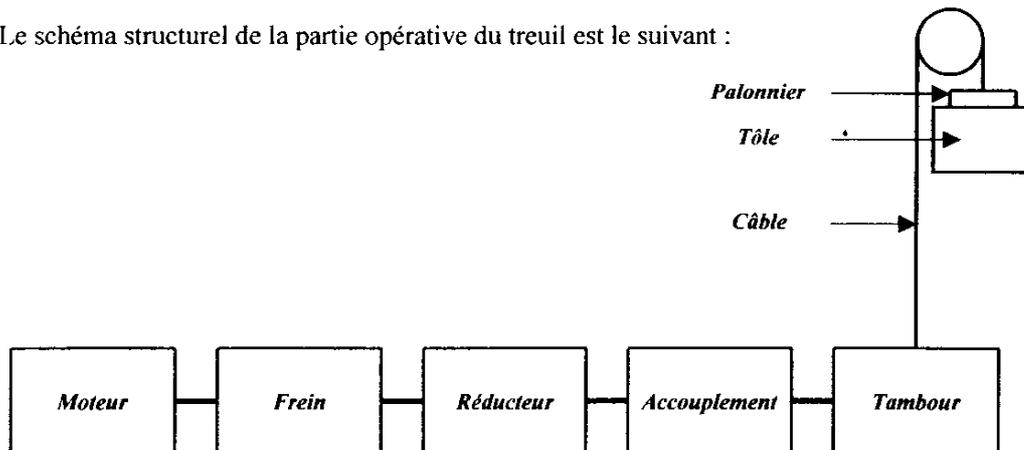
$x_1$ : course négative parcourue pendant $t_1$	$a_{t1}$ : accélération durant $t_1$
$x_2$ : course négative parcourue pendant $t_2$	$a_{t2}$ : accélération durant $t_2$
$x_3$ : course négative parcourue pendant $t_3$	$a_{t3}$ : accélération durant $t_3$

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  $\text{tr.mn}^{-1}$ .  
(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  $\theta''$ .  
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<sub>max</sub>**. (*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<sup>er</sup> cas, la charge entraîne le moteur,  
- 2<sup>ème</sup> 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<sub>req</sub>, en fonction du rendement  $\eta$ , du rapport de réduction  $k$  et du couple de sortie C<sub>rs</sub>.

$\eta$  : 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  $\eta$  vaut 0,75. Calculer le nouveau couple moteur maximum C<sub>max</sub>.

(*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<sub>N</sub> de ce moteur et en déduire son couple maximal C<sub>M</sub>. (*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<sub>th</sub> = 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*)

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

## 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*)

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

## 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)*

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

## 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	fdeFA : 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.

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

**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 (fdeFA 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  $\Delta u$  due aux résistances est nulle.

Quand le gradateur laisse passer le courant, la chute de tension  $\Delta u$  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  $500 \text{ mm}^2$ , isolant PR, posés jointifs en nappe, de longueur  $L = 15 \text{ m}$ .

*(répondre sur la feuille réponse 17)*

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

**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)*

CODE : EQAVP	CAHIER TECHNIQUE	BTS ÉLECTROTECHNIQUE - AVANT-PROJET	SESSION 2002
--------------	------------------	-------------------------------------	--------------

## ***"Four de traitement thermique"***

---

### CAHIER TECHNIQUE

#### **Sommaire :**

#### **◆ Documentation système**

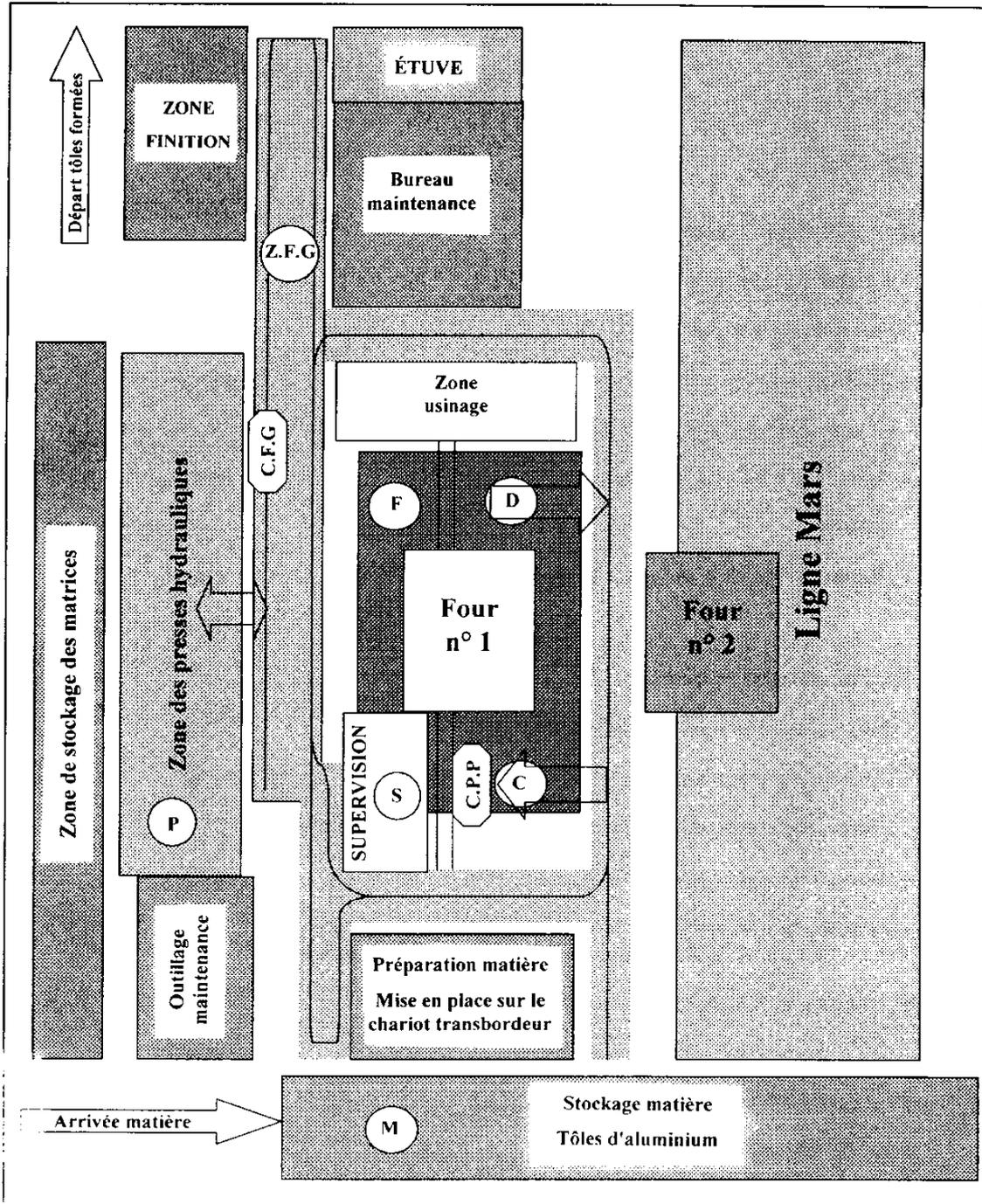
◆ Présentation de la ligne	Document 1
◆ Présentation du four	Document 2
◆ Synoptique de l'ensemble	Document 3
◆ Présentation du treuil de levage	Document 4
◆ Schéma électrique global du four	Documents 5 et 6
◆ GEMMA	Document 7
◆ GRAFCET de conduite et de sécurité	Document 8

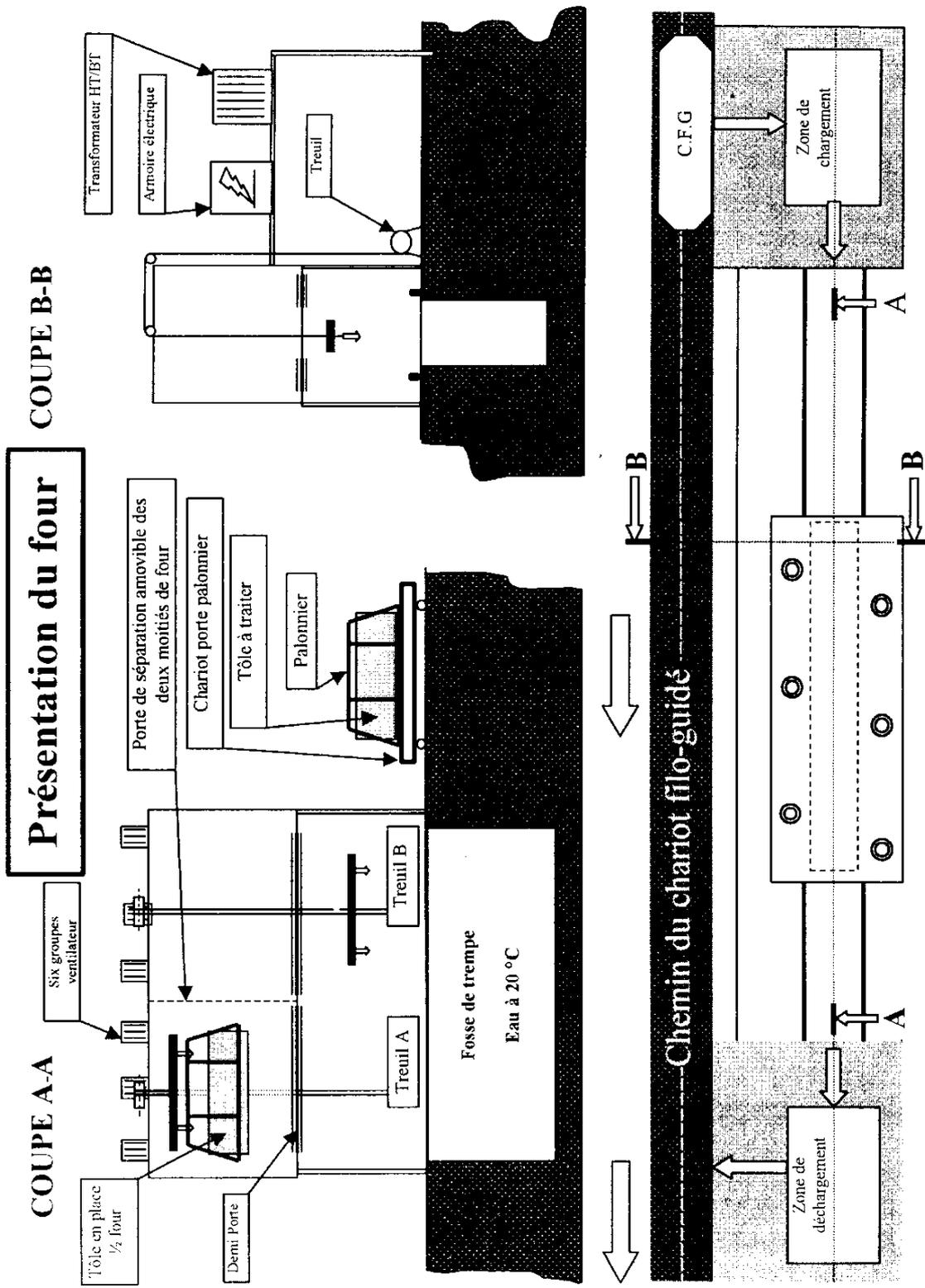
#### **◆ Documentation technique**

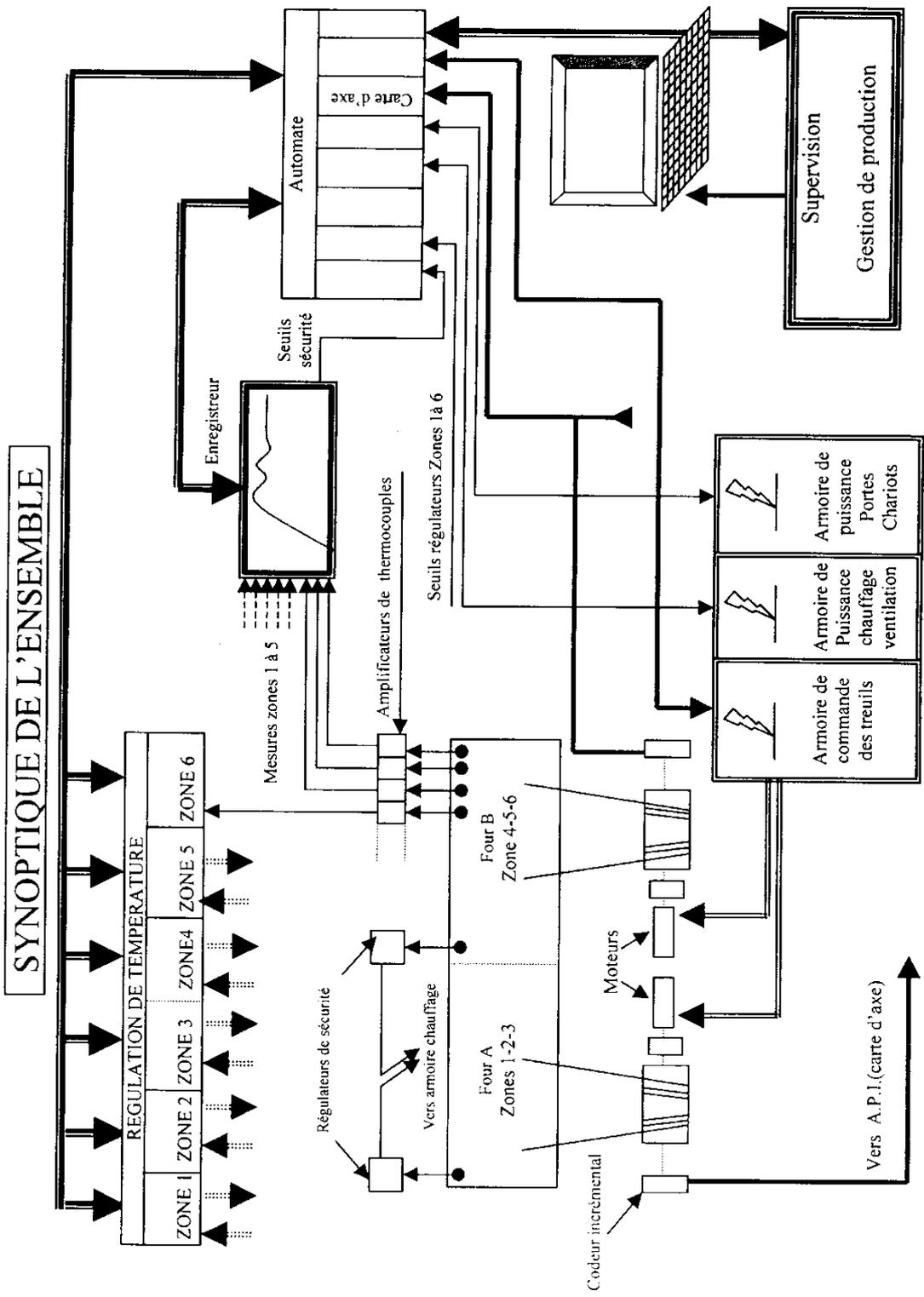
◆ Moteurs asynchrones triphasés fermés LEROY SOMER	D.T.1
◆ Choix d'un moteur asynchrone en cycle intermittent	D.T.2
◆ Choix du variateur de vitesse associé au moteur asynchrone	D.T.3
◆ Exemple de choix moteur et variateur	D.T.4
◆ Variateur de vitesse pour moteur asynchrones avec et sans retour et pour moteurs autosynchrones UMV 4301(Leroy Somer)	D.T.5 , D.T.6 ,D.T.7
◆ Relais de protection thermique différentiels tripolaires	D.T.8
◆ Détermination des sections des câbles	D.T.9
◆ Détermination de la section minimale	D.T.10
◆ Calcul des chutes de tension	D.T.11
◆ Flicker ou scintillement des sources lumineuses	D.T.12
◆ Présentation générale de la série TC2000	D.T.13

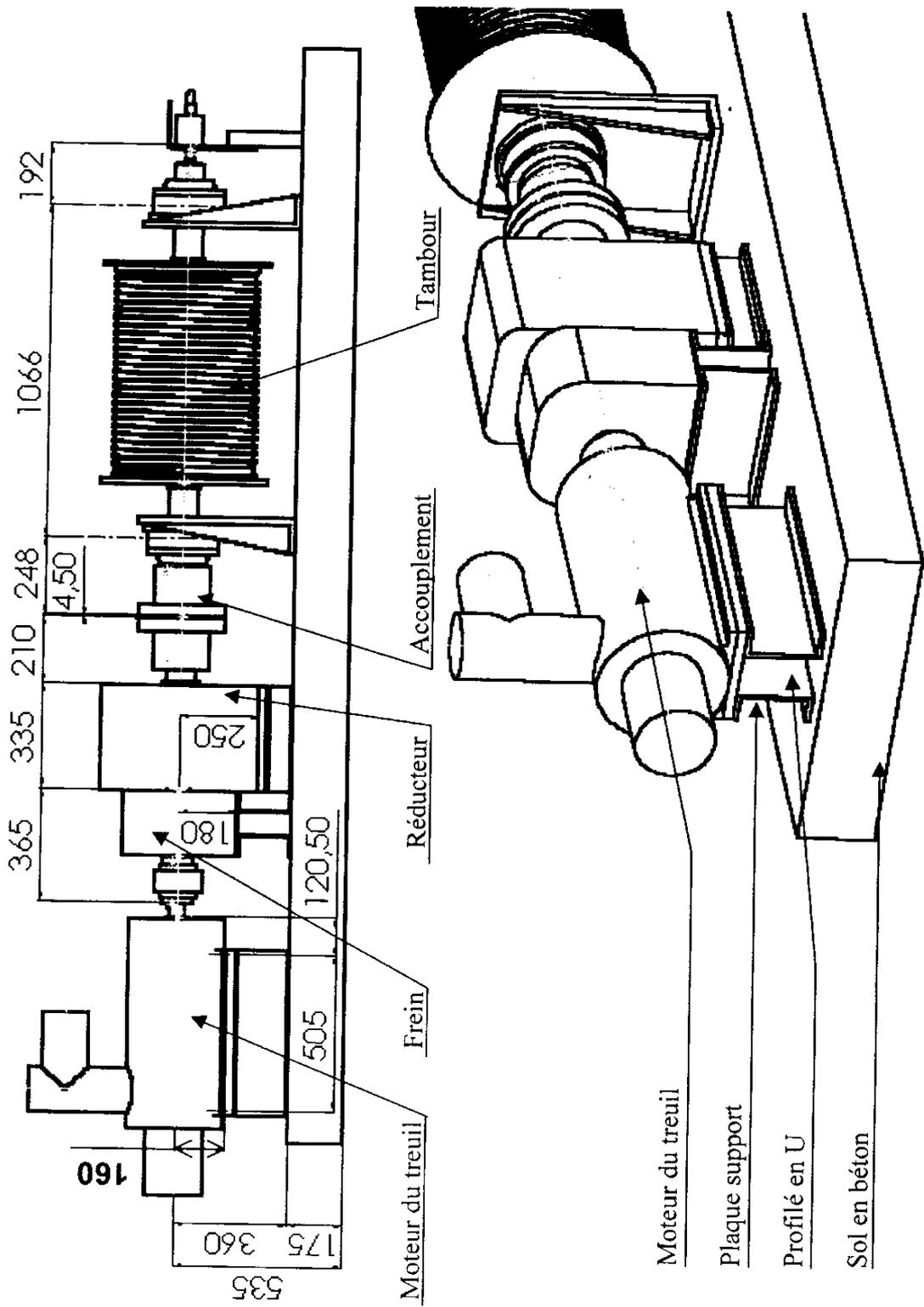
**PRÉSENTATION DE LA LIGNE MERCURE**

Schéma d'implantation de la ligne : vue de dessus

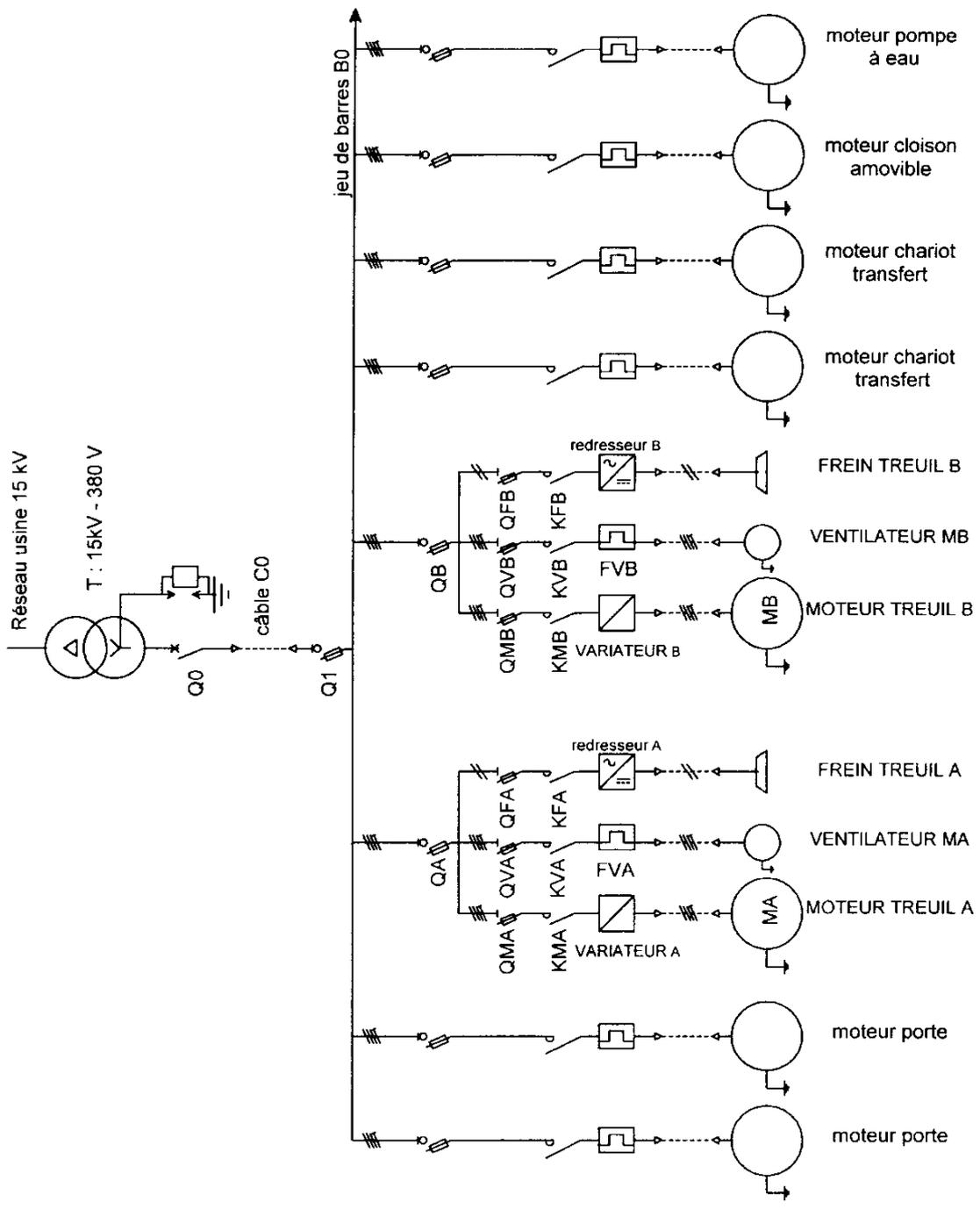


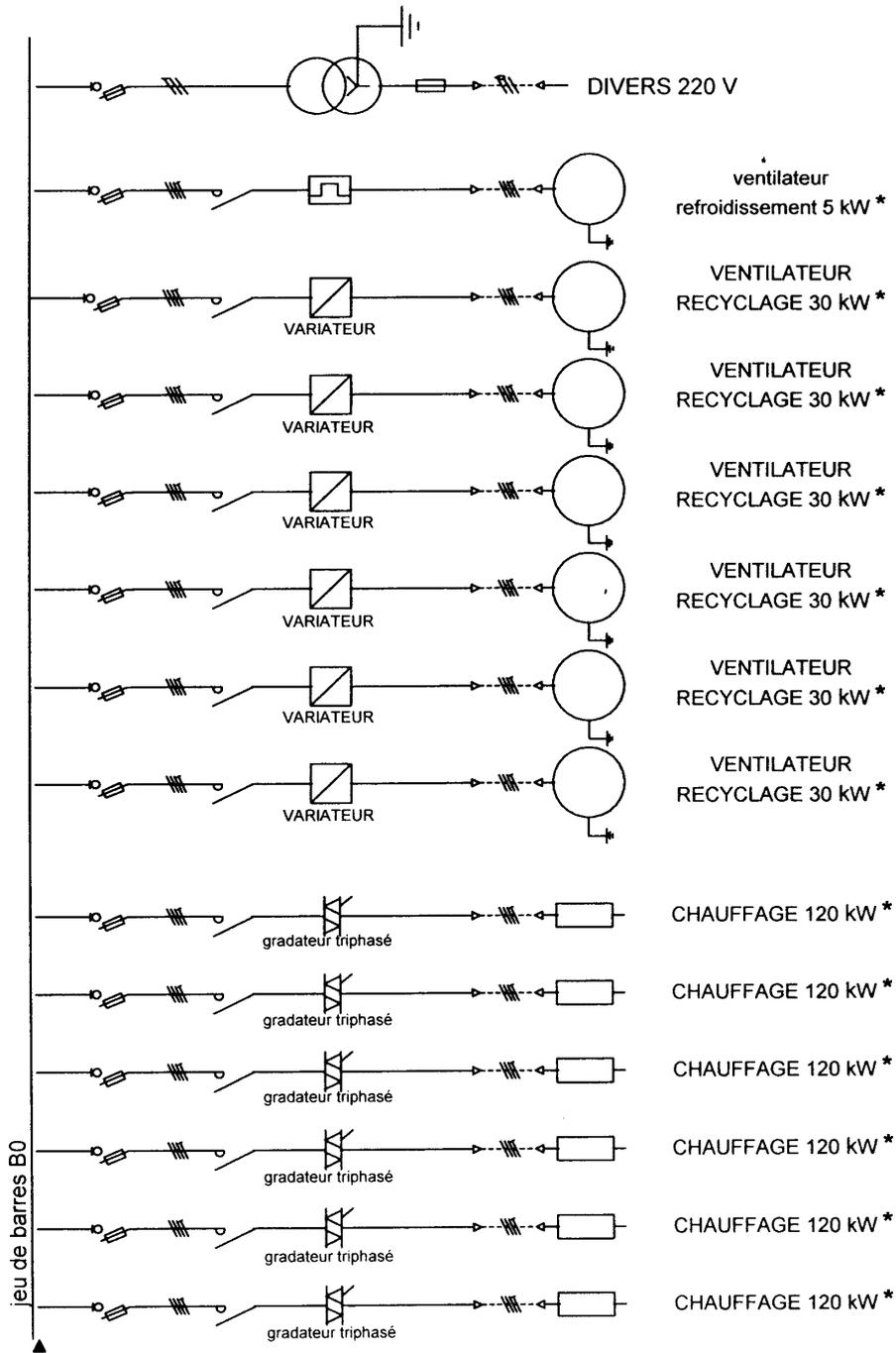






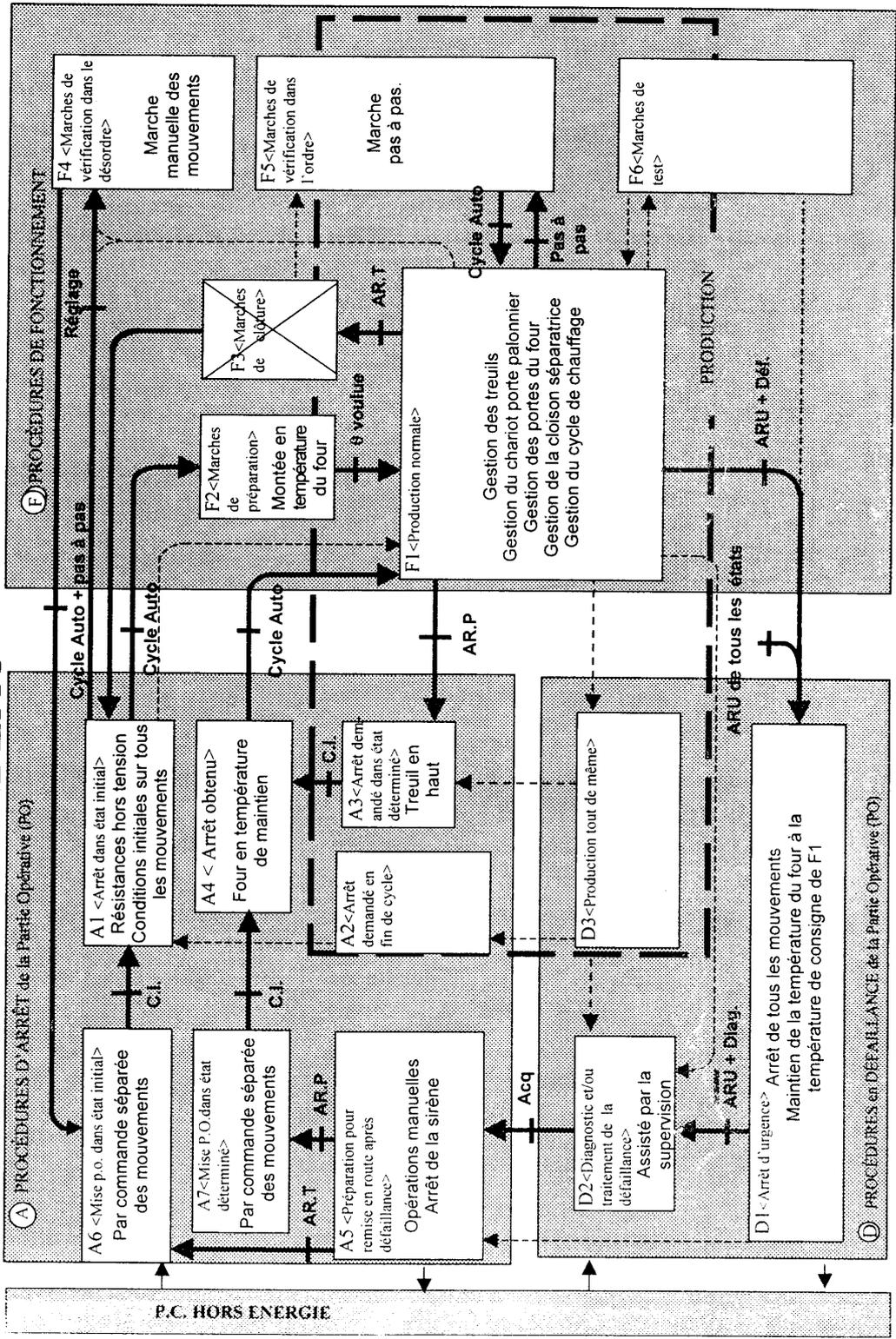
Document 4



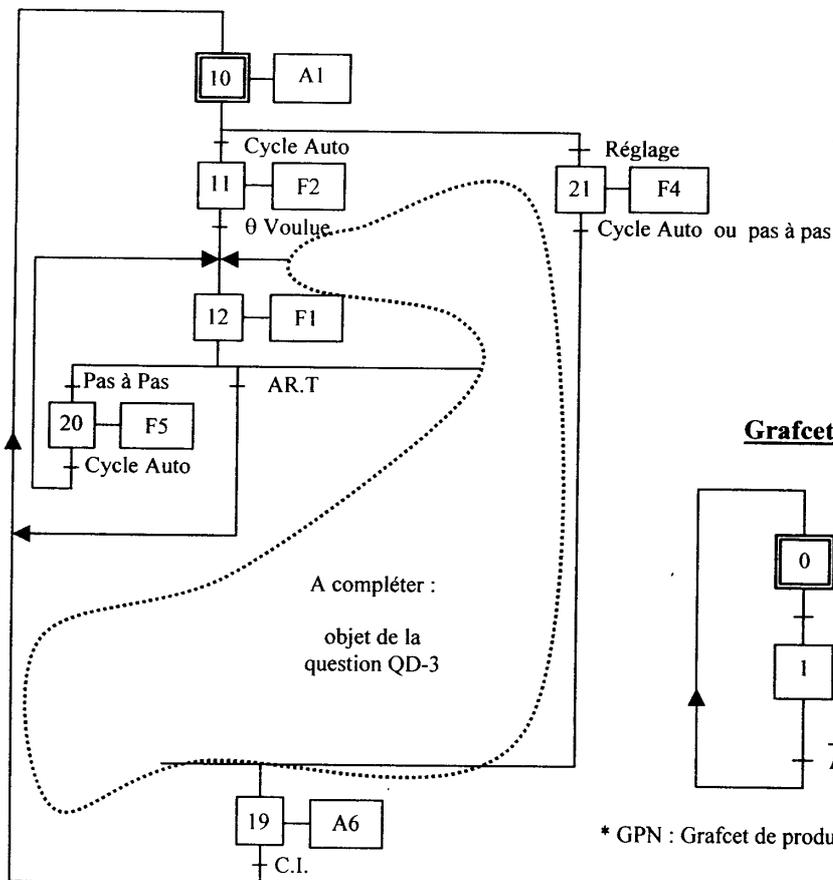


\* les puissances indiquées sont des puissances absorbées.

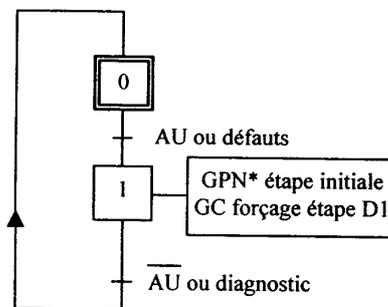
**GEMMA** Guide d'Étude des Modes de Marches et d'Arrêts **ADEPA**



**Grafset de conduite : GC** du four N° 1



**Grafset de sécurité**



\* GPN : Grafset de production normale

**Définition des transitions du Gemma**

Désignation	Fonction	Type	Désignation	Fonction	Type
ARU	Arrêt d'urgence.	Coup de poing à verrouillage.	$\theta$ Voulu	Seuil de fin de montée en température de préchauffage.	Variable interne A.P.I.
Diag.	Diagnostic.	Bouton poussoir procédure de diagnostic.	Déf.	Somme des défauts système.	Variable interne A.P.I.
AR.T	Arrêt total du four.	Commutateur trois positions à clé.	C.I.	Conditions initiales : état repos de l'ensemble du système four.	Variable interne A.P.I.
AR.P	Arrêt partiel du four.	Une position 0.			
Cycle Auto	Permet de sélectionner les trois modes de fonctionnement du four.	Commutateur trois positions.			
Réglage					
Pas à pas					

**Moteurs asynchrones triphasés fermés LEROY SOMER**  
**Carter alliage d'aluminium**

Caractéristiques électriques

**4**  
**Pôles**  
**1500 min<sup>-1</sup>**

**IP 55 - S1**  
**Cl. F - ΔT 80 K**  
**MULTI-TENSION**

**RESEAU 380 V 50 Hz**

Type	Puissance nominale à 50 Hz	Vitesse nominale	Couple nominal	Intensité nominale	Facteur de puissance	Rendement	Courant démarrage / courant nominal	Couple démarrage / couple nominal	Couple maximal / couple nominal	Puissance apparente nominale	Moment d'inertie	Masse
	P <sub>N</sub> kW	N <sub>N</sub> min <sup>-1</sup>	C <sub>N</sub> Nm	I <sub>N</sub> A	Cos φ	η %	I <sub>D</sub> / I <sub>N</sub>	C <sub>D</sub> / C <sub>N</sub>	C <sub>M</sub> / C <sub>N</sub>	kVA <sub>N</sub>	J kg.m <sup>2</sup>	IM B3 kg
LS 132 S	5,5	1420	36,7	12	0,85	81	6,4	2,3	2,6	8,2	0,018	38,7
LS 132 M	7,5	1445	49,4	15,8	0,85	85	7,7	2,7	3,1	10,5	0,024	54,7
LS 132 M	9	1445	59,3	18,3	0,87	86	7,1	2,1	3	12,7	0,029	59,9
LS 160 MP	11	1450	72,2	21,5	0,88	88,5	7,7	2,8	3,4	14,6	0,039	70
LS 160 LR	15	1444	98,8	29,6	0,87	88,5	7,5	2,9	3,3	19,9	0,047	78
LS 180 MT	18,5	1445	121,9	36,2	0,87	89,3	7,4	2,9	3,3	24,6	0,085	100
LS 180 LR	22	1445	145	43,5	0,86	89,3	7,4	3,2	3,5	29,2	0,098	110
LS 200 LT	30	1450	196,3	56,8	0,89	90,1	6,6	2,7	2,6	38,1	0,151	170
LS 225 ST	37	1465	240,5	70	0,87	92,0	6,5	2,6	2,6	47,1	0,23	205
LS 225 MR	45	1465	292,5	84	0,88	92,5	6,5	2,8	2,6	56,4	0,28	235
LS 250 MP	55	1475	355	102	0,87	93,9	6,7	2,6	2,5	68,8	0,75	340
LS 280 SP	75	1480	484,2	140	0,86	94,8	6,9	2,6	2,7	93,1	1,28	445
LS 280 MP	90	1485	579	169	0,85	95,0	7,6	2,9	2,9	111,5	1,45	490
LS 315 SP	110	1485	706,3	204	0,86	95,3	7,8	2,9	2,8	133,9	2,74	720
LS 315 MR	132	1485	847,5	244	0,86	95,5	8,1	3,1	3,3	162,4	2,95	785
LS 315 MR	160	1485	1027,3	285	0,89	95,8	8,4	3,0	3,3	191,4	3,37	855

Désignation complète du moteur

*exemple :*

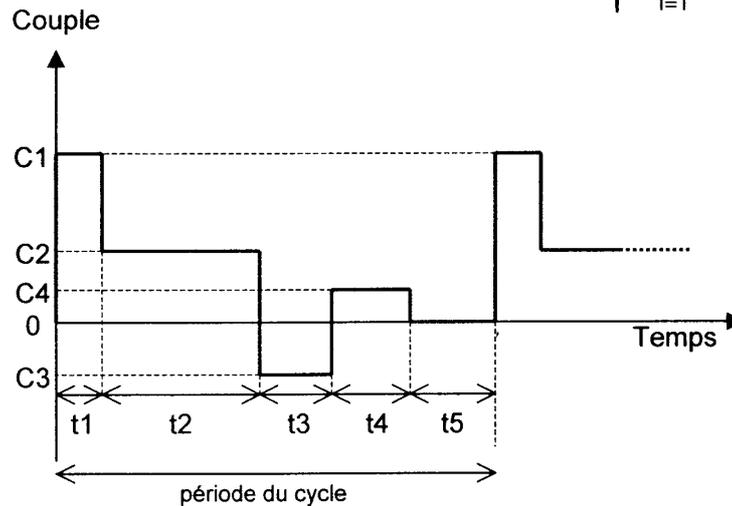
<b>4P</b> <b>1500</b> <b>min<sup>-1</sup></b>	<b>LS</b>	<b>180</b>	<b>MT</b>	<b>18,5</b> <b>kW</b>	<b>IM1001</b> <b>IM B3</b>	<b>230 /</b> <b>400 V</b>	<b>50 Hz</b>	<b>IP 55</b>
Polarité(s) vitesse(s)	Désignation de la série	Hauteur d'axe CEI 72	Désignation du carter et indice constructeur	Puissance nominale	Forme de construction CEI 34-7	Tension réseau	Fréquence réseau	Protection CEI 34-5

### Choix d'un moteur asynchrone en cycle intermittent : (moteur motoventilé et alimenté à flux constant)

Lorsque le couple varie lors d'un cycle, on calcule le couple thermiquement équivalent  $C_{th}$

$$C_{th} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} C_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{i=n} t_i}}$$

Exemple de cycle :



$$C_{th} = \sqrt{\frac{C_1^2 \cdot t_1 + C_2^2 \cdot t_2 + C_3^2 \cdot t_3 + C_4^2 \cdot t_4 + C_5^2 \cdot t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}}$$

Le couple moteur nominal  $C_N$ , défini généralement pour un service S1 doit être supérieur à  $C_{th}$ .  
On n'utilise jamais un moteur trop près de son couple de décrochage  $C_M$  (couple moteur maximum) : l'indication du constructeur comporte une tolérance, et le moindre à-coup mécanique entraînerait un décrochage.  
En général, on prend une marge de 30%. Donc  $C_M > 1,3 \cdot |C_{max}|$   
(dans l'exemple,  $|C_{max}| = C_1$ ).

On effectue un choix de moteur en tenant compte des déclassements éventuels (température ambiante, altitude). La vitesse de synchronisme du moteur doit être proche de la vitesse maximale.

Pour tenir compte de l'échauffement du moteur dû au passage du courant magnétisant, il est recommandé de reprendre le calcul de  $C_{th}$  en remplaçant toutes les valeurs de couple inférieures en valeur absolue à  $0,5 C_N$  par la valeur  $0,5 C_N$ .

Cette règle ne s'applique pas si le moteur n'est pas alimenté.

On vérifie ensuite que  $C_N > C_{th}$ .

CODE : EQAVP	CAHIER TECHNIQUE	BTS ÉLECTROTECHNIQUE - AVANT-PROJET	SESSION 2002
--------------	------------------	-------------------------------------	--------------

### Choix du variateur de vitesse associé au moteur asynchrone (motoventilé et alimenté à flux constant)

Il doit au moins pouvoir fournir la tension nominale du moteur.

Calcul du courant nominal  $I_{nvar}$  :

$$I_{nvar} > I_{th} \quad \text{avec} \quad I_{th} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} I_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{i=n} t_i}}$$

$I_i$  correspond au courant moteur efficace durant le temps  $t_i$ .

$I_i$  se calcule comme suit :

Soit  $C$  le couple moteur et  $C_N$  son couple nominal.

Soit  $I_N$  le courant nominal moteur et  $\varphi_N$  le déphasage nominal (pour  $C_N$ ).

$$I_i = \sqrt{(I_N \cdot \sin \varphi_N)^2 + \left( I_N \cdot \frac{C}{C_N} \cdot \cos \varphi_N \right)^2}$$

De plus  $I_i$  est limité à une valeur maximale par le variateur :

$I_i$  doit être inférieur à 1,75 fois le courant nominal variateur (mode contrôle vectoriel en boucle fermée), et ce pendant 4 s.

$I_i$  doit être inférieur à 1,5 fois le courant nominal variateur et ce pendant 60 s.

CODE : EQAVP	CAHIER TECHNIQUE	BTS ÉLECTROTECHNIQUE - AVANT-PROJET	SESSION 2002
--------------	------------------	-------------------------------------	--------------

### Exemple de choix moteur et variateur :

fréquence de rotation variable de 0 à 1400 tr/min et U = 380 V triphasé.

C1 = 100 Nm pendant t1 = 5 s

C2 = 50 Nm pendant t2 = 20 s

C3 = -15 Nm pendant t3 = 5 s

C4 = 20 Nm pendant t4 = 10 s

C5 = 0 Nm pendant t5 = 20 s et moteur non alimenté.

$$C_{th} = \sqrt{\frac{100^2 \cdot 5 + 50^2 \cdot 20 + (-15)^2 \cdot 5 + 20^2 \cdot 10 + 0^2 \cdot 20}{5 + 20 + 5 + 10 + 20}} = 41,86 \text{ Nm}$$

$$|C_{max}| = 100 \text{ Nm}$$

Le moteur suivant :

4 pôles,  $N_N = 1445 \text{ tr/min}$ ,  $I_N = 15,8 \text{ A}$ ,  $\cos\phi_N = 0,85$ ,  $C_N = 49,4 \text{ Nm}$ ,  $C_M/C_N = 3,1$

et  $P_N = 7,5 \text{ kW}$

convient à priori car

$C_N > C_{th}$  ( $49,4 > 41,86$ ) et  $C_M / 1,3 = (3,1 \cdot 49,4) / 1,3 = 117,8 \text{ Nm} > |C_{max}|$

Il convient de reprendre le calcul de  $C_{th}$  en remplaçant C3 et C4 par 24,7 Nm ( $C_N/2$ ).

$$C_{th} = \sqrt{\frac{100^2 \cdot 5 + 50^2 \cdot 20 + 24,7^2 \cdot 5 + 24,7^2 \cdot 10 + 0^2 \cdot 20}{5 + 20 + 5 + 10 + 20}} = 42,65 \text{ Nm}$$

On voit que le choix du moteur convient toujours :  $C_{th} < C_N$ .

### Choix du variateur associé :

$$C = 100 \text{ Nm} \quad I = \sqrt{(15,8 \cdot 0,527)^2 + \left(15,8 \cdot \frac{100}{49,4} \cdot 0,85\right)^2} = 28,43 \text{ A}$$

$$C = 50 \text{ Nm} \quad I = 15,94 \text{ A}$$

$$C = -15 \text{ Nm} \quad I = 9,27 \text{ A}$$

$$C = 10 \text{ Nm} \quad I = 8,76 \text{ A}$$

$$C = 0 \quad I = 0 \text{ A (moteur non alimenté)}$$

$$I_{th} = \sqrt{\frac{28,43^2 \cdot 5 + 15,94^2 \cdot 20 + 9,27^2 \cdot 5 + 8,76^2 \cdot 10 + 0 \cdot 20}{5 + 20 + 5 + 10 + 20}} = 13,11 \text{ A}$$

Le variateur doit avoir un calibre supérieur à  $I_{th} = 13,11 \text{ A}$

et doit accepter 28,43 A pendant 5 s.

Le choix se porte sur un variateur de 25 A.

**Variateur de vitesse pour moteurs asynchrones  
avec et sans retour et pour moteurs autosynchrones  
UMV 4301 (Leroy Somer)**

## 1 - INFORMATIONS GÉNÉRALES

L'UMV 4301 est un variateur alternatif pour l'alimentation de moteurs asynchrones et de moteurs autosynchrones (Brushless).

L'UMV 4301 peut donc être configuré dans les différents modes de fonctionnement suivants :

• **Fonctionnement à contrôle vectoriel de flux sans retour :**

Grâce à sa puissance de calcul, le variateur contrôle séparément le courant magnétisant et le courant actif avec un moteur asynchrone standard. La vitesse et la position du rotor sont calculées pour contrôler le couple et la vitesse du moteur. Ce mode de fonctionnement permet, sans retour, d'obtenir des performances très élevées et convient donc à la majorité des applications.

• **Fonctionnement à contrôle vectoriel de flux avec retour :**

L'utilisation du mode de contrôle vectoriel de flux avec retour sur un moteur asynchrone standard équipé d'un codeur incrémental pour la position et la vitesse exacte du rotor, permet de mieux maîtriser le couple et la vitesse du moteur sur une plus grande plage de vitesse (y compris à la vitesse nulle) avec des performances dynamiques accrues.

• **Fonctionnement à contrôle tension fréquence (U/F) en boucle ouverte :**

Le variateur contrôle simultanément la tension et la fréquence aux bornes du moteur asynchrone. Ce mode de fonctionnement est utilisé pour les applications particulières pour lesquelles le contrôle vectoriel de flux sans retour ne permet pas d'obtenir les performances souhaitées (plusieurs moteurs alimentés par un seul variateur, etc...).

• **Fonctionnement pour moteur autosynchrone (Brushless) :**

L'utilisation du mode SERVO avec un moteur autosynchrone (moteur avec aimants permanents au rotor) et équipé d'un codeur incrémental ou d'un résolveur permet de très grandes performances dynamiques pour l'entraînement d'axes par exemple.

• **Module de puissance :**

Le variateur UMV 4301 utilise un pont onduleur à transistors IGBT.

Cette technologie de pointe diminue considérablement le bruit et l'échauffement du moteur à vitesse variable.

Les performances de l'UMV 4301 sont parfaitement compatibles avec une utilisation dans les 4 quadrants du plan-couple-vitesse.

Lors des périodes de fonctionnement en générateur, l'énergie restituée par le moteur est dissipée par des résistances.

## 2 - DÉSIGNATION DU PRODUIT

UMV 4301 : variateur de vitesse à contrôle tension fréquence (U/F), à contrôle vectoriel de flux sans ou avec retour, à contrôle pour moteur synchrone autopiloté.

2,5 = Calibre en kVA sous 400V

T = Alimentation triphasée

CODE : EQAVP	CAHIER TECHNIQUE	BTS ÉLECTROTECHNIQUE - AVANT-PROJET	SESSION 2002
--------------	------------------	-------------------------------------	--------------

**Variateur de vitesse pour moteurs asynchrones  
avec et sans retour et pour moteurs autosynchrones  
UMV 4301 (Leroy Somer)**

### 3 - CARACTÉRISTIQUES

#### 3.1 - Caractéristiques électriques principales

Alimentation d'entrée	Réseau triphasé 380V à 480V $\pm$ 10 %
Fréquence d'entrée	48Hz à 62Hz
Déséquilibre de phase à l'entrée	$\leq$ 3 %
Tension de sortie	De 0V à la tension d'alimentation
Nombre maxi de mises sous tension par heure	20

#### 3.2 - Caractéristiques électriques de sortie et intensité réseau (entrée variateur)

Calibre UMV 4301	Puissance utile moteur sous réseau 400V (kW)	Intensité nominale permanente (A)	Intensité de surcharge pendant 60s (A)	Intensité crête pendant 4s (A)	Intensité réseau (entrée) (A)
1,5T	0,75	2,1	3,1	3,7	3,1
2T	1,1	2,8	4,2	4,9	3,2
2,5T	1,5	3,8	5,6	6,7	5,5
3,5T	2,2	5,6	8,3	9,9	8,4
5,5T	4	9,5	14,1	16,8	9,5
8T	5,5	12	17,9	21,2	13,7
11T	7,5	16	23,8	28,2	16,3
16T	11	25	37,2	44,1	24,3
22T	15	34	50,6	60	34
27T	18,5	40	59,6	70,6	39
33T	22	46	68,5	81,2	46
40T	30	60	89,4	106	59
50T	37	70	114,7	136	74
60T	45	96	143	169,5	96
75T	55	124	184,7	219	120
100T	75	156	232,3	275,5	151
120T	90	180	268	317,8	173

CODE : EQAVP	CAHIER TECHNIQUE	BTS ÉLECTROTECHNIQUE - AVANT-PROJET	SESSION 2002
--------------	------------------	-------------------------------------	--------------

**Variateur de vitesse pour moteurs asynchrones  
avec et sans retour et pour moteurs autosynchrones  
UMV 4301 (Leroy Somer)**

#### 4 - RÉSISTANCES DE FREINAGE RF

- La résistance de freinage doit être installée de manière à ne pas endommager les composants avoisinants par sa dissipation calorifique.
- Une attention particulière doit être apportée à toute manipulation près de la résistance, du fait de la présence d'une tension élevée et du dégagement de chaleur (température de la résistance supérieure à 80°C).
- La résistance de freinage doit être câblée en série avec un relais thermique calibré au courant efficace de la résistance pour éviter les risques d'incendie pouvant être provoqués par un dysfonctionnement du transistor de freinage ou un court-circuit.
- La résistance doit être raccordée entre les bornes + et • du variateur.

La puissance crête dépend de la tension du bus continu. Elle a été calculée pour 720V.

##### 4.1 - Caractéristiques électriques

Calibre RF	Valeur ohmique (Ω)	Puissance thermique (W)	Puissance crête (W)	Courant efficace (A)*
320T	180	320	2880	1,33
640T	90	640	5760	2,66
1000T	68	1000	7620	3,8
2000T	40	2000	12960	7,07
3500T	40	3500	12960	9,35
5500T	40	5500	12960	11,7
7500T	10	7500	51840	27,4
11000T	10	11000	51840	33,2
18500T	10	18500	51840	43
22500T	5	22500	103680	67
27500T	10	27500	51840	52,4
37500T	5	37500	103680	86,6
55000T	5	55000	103680	104,8

\* courant de réglage du relais thermique en série dans la résistance.

##### 4.2 - Résistance minimum compatible

Calibre variateur UMV 4301	Valeur ohmique minimum (Ω)
1,5T à 5,5T	40
8T	40
11T et 16T	30
22T à 50T	10
60T à 120T	5

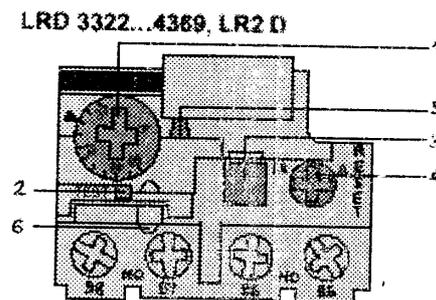
## Relais de protection thermique différentiels tripolaires

### Description :

Les relais tripolaires de protection thermique modèle d sont destinés à la protection des circuits et des moteurs alternatifs contre les surcharges, les coupures de phases, les démarrages trop longs et les calages prolongés du moteur.

Ce sont des relais compensés, à réarmement manuel ou automatique :

- avec visualisation du déclenchement,
- pour courant alternatif ou continu.



- 1 : Bouton de réglage Ir  
 2 : Bouton Test  
 L'action sur le bouton Test permet :  
 - le contrôle du câblage du circuit de commande  
 - la simulation du déclenchement du relais (action sur les 2 contacts "O" et "F")  
 3 : Bouton Stop. Il agit sur le contact "O" et est sans effet sur le contact "F"  
 4 : Bouton de réarmement  
 5 : Visualisation du déclenchement  
 6 : Verrouillage par plombage du capot

zone de réglage du relais	fusibles à associer au relais choisi			pour association avec contacteur LC1	référence relais
	aM	gG	BS88		
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>		
17...25	25	50	50	D40... D95	<b>LRD 3322</b>
23...32	40	63	63	D40... D95	<b>LRD 3353</b>
30...40	40	100	80	D40... D95	<b>LRD 3355</b>
37...50	63	100	100	D40... D95	<b>LRD 3357</b>
48...65	63	100	100	D50... D95	<b>LRD 3359</b>
55...70	80	125	125	D50... D95	<b>LRD 3361</b>
63...80	80	125	125	D65 et D95	<b>LRD 3363</b>
80...104	100	160	160	D80 et D95	<b>LRD 3365</b>
<b>classe 10 A avec raccordement par vis-étriers</b>					

Caractéristiques de fonctionnement			
compensation en température		°C	-20...+60
seuils de déclenchement	selon IEC 947-4-1	<b>A</b>	1,14 ± 0,06 I <sub>n</sub>
sensibilité aux défauts de phase	selon IEC 947-4-1	déclenchement I 30 % de I <sub>n</sub> sur une phase, les autres à I <sub>n</sub>	

## Détermination des sections de câbles

Les tableaux ci-contre permettent de déterminer la section des conducteurs de phase d'un circuit. Ils ne sont utilisables que pour des canalisations non enterrées et protégées par disjoncteur.

Pour obtenir la section des conducteurs de phase, il faut :

- déterminer une lettre de sélection qui dépend du conducteur utilisé et de son mode de pose
- déterminer un coefficient K qui caractérise l'influence des différentes conditions d'installation.

Ce coefficient K s'obtient en multipliant les trois facteurs de correction K1, K2 et K3 :

- le facteur de correction K1 prend en compte le mode de pose
- le facteur de correction K2 prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte
- le facteur de correction K3 prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant.

Lettre de sélection		Lettre de sélection											
type d'éléments conducteurs	mode de pose		Lettre de sélection										
conducteurs et câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré</li> <li>■ sous vide de construction, faux plafond</li> <li>■ sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles</li> </ul>		<b>B</b>										
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ en apparent contre mur ou plafond</li> <li>■ sur chemin de câbles ou tablettes non perforées</li> </ul>		<b>C</b>										
câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé</li> <li>■ fixés en apparent, espacés de la paroi</li> <li>■ câbles suspendus</li> </ul>		<b>E</b>										
câbles monoconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé</li> <li>■ fixés en apparent, espacés de la paroi</li> <li>■ câbles suspendus</li> </ul>		<b>F</b>										
Facteur de correction K1													
lettre de sélection	cas d'installation	K1											
<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ câbles dans des conduits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants</li> </ul>	<b>0,70</b>											
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants</li> </ul>	<b>0,77</b>											
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ câbles multiconducteurs</li> </ul>	<b>0,90</b>											
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ pose sous plafond</li> </ul>	<b>0,95</b>											
<b>B, C, E, F</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ autres cas</li> </ul>	<b>1</b>											
Facteur de correction K2													
lettre de sélection	disposition des câbles jointifs	facteur de correction K2											
		nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
<b>B, C</b>	encastrés ou noyés dans les patois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
<b>C</b>	simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70		
	simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61		
<b>E, F</b>	simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72		
	simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78		
Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, appliquer en plus un facteur de correction de :													
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 0,80 pour deux couches</li> <li>■ 0,73 pour trois couches</li> <li>■ 0,70 pour quatre ou cinq couches</li> </ul>													
Facteur de correction K3													
températures ambiantes (°C)	isolation												
	élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)										
10	1,29	1,22	1,15										
15	1,22	1,17	1,12										
20	1,15	1,12	1,08										
25	1,07	1,07	1,04										
30	1,00	1,00	1,00										
35	0,93	0,93	0,96										
40	0,82	0,87	0,91										
45	0,71	0,79	0,87										
50	0,58	0,71	0,82										
55	-	0,61	0,76										
60	-	0,50	0,71										

## Détermination de la section minimale

Connaissant  $I_z$  et  $K$   
( $I_z$  est le courant équivalent au  
courant véhiculé par la canalisation :  
 $I_z = I_z / K$ ),  
le tableau ci-contre indique la section à  
retenir.

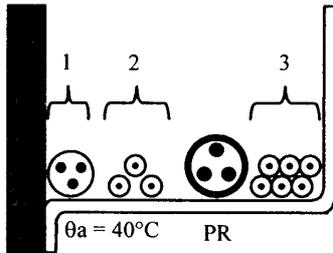
### Exemple

Un câble PR triphasé est tiré sur un  
chemin de câbles perforé, jointivement  
avec 3 autres circuits constitués :

- d'un câble triphasé (1<sup>er</sup> circuit)
- de 3 câbles unipolaires (2<sup>e</sup> circuit)
- de 6 câbles unipolaires (3<sup>e</sup> circuit),  
ce circuit est constitué de 2  
conducteurs par phase.

Il y aura donc 5 groupements  
triphasés. La température ambiante  
est de 40°C.

Le câble PR véhicule 25 ampères par  
phase.



La lettre de sélection donnée par le  
tableau correspondant est E.  
Le facteur de correction  $K_1$ , donné par  
le tableau correspondant, est 1.  
Le facteur de correction  $K_2$ , donné par  
le tableau correspondant, est 0,75.  
Le facteur de correction  $K_3$ , donné par  
le tableau correspondant, est 0,91.  
Le coefficient  $K$ , qui est  $K_1 \times K_2 \times K_3$ , est  
donc  $1 \times 0,75 \times 0,91$  soit 0,68.

### Détermination de la section

Le courant admissible dans la  
canalisation est  $I_z = 25$  A.  
L'intensité fictive  $I'_z$  prenant en compte  
le coefficient  $K$  est  
 $I'_z = 25 / 0,68 = 36,8$  A.  
En se plaçant sur la ligne  
correspondant à la lettre de sélection  
E, dans la colonne PR3, on choisit la  
valeur immédiatement supérieure à  
36,8 A, soit, ici, 42 A dans le cas du  
cuivre qui correspond à une section de  
4 mm<sup>2</sup> cuivre ou, dans le cas de  
l'aluminium 43 A, qui correspond à une  
section de 6 mm<sup>2</sup> aluminium.

lettre de sélection	isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)									
	caoutchouc ou PVC				butyle ou PR ou éthylène PR					
B	PVC3	PVC2		PR3		PR2				
C		PVC3		PVC2	PR3		PR2			
E			PVC3		PVC2	PR3		PR2		
F				PVC3		PVC2	PR3		PR2	
section cuivre (mm <sup>2</sup> )	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
300		464	497	530	576	621	693	741	783	
400					656	754	825		940	
500					749	868	946		1083	
630					855	1005	1088		1254	
section aluminium (mm <sup>2</sup> )	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	59	62	67	
	16	53	59	61	66	73	79	84	91	
	25	70	73	78	83	90	98	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	122	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	149	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	192	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	235	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	273	280	300	337
	150		227	245	261	283	316	324	346	389
	185		259	280	298	323	363	371	397	447
	240		305	330	352	382	430	439	470	530
	300		351	381	406	440	497	508	543	613
400					526	600	663		740	
500					610	694	770		856	
630					711	808	899		996	

## Calcul des chutes de tension

La **chute de tension** due au passage du courant  $I_B$  dans un circuit est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$u = b.(R_{1ph} \cdot \cos\varphi + X_{ph} \cdot \sin\varphi) \cdot I_B \cdot 10^{-3} \quad (V)$$

- $u$  : chute de tension, en V
- $I_B$  : courant d'emploi du circuit considéré, en A
- $\cos\varphi$  : facteur de puissance, pris égal à 0,8 en l'absence d'indications précises
- $b$  : égal à 1 pour les circuits triphasés, égal à 2 pour les circuits monophasés.

avec pour les conducteurs isolés et les câbles, circuits triphasés ou circuits monophasés :

$$R_{1ph} = \frac{\rho_1}{S_{ph} \cdot n_{ph}} \cdot L_1$$

$$X_{ph} = \frac{\lambda}{n_{ph}} \cdot L_1$$

$\rho_1 = 1,20 \cdot \rho_0$  : isolant PVC

$\rho_1 = 1,28 \cdot \rho_0$  : isolant PR et EPR

$\rho_1$  : résistivité des conducteurs à la température de fonctionnement stable

$\rho_0$  : résistivité des conducteurs à 20°C

$\rho_0 = 18,51 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  : cuivre

$\rho_0 = 29,41 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  : aluminium

$L_1$  : longueur du circuit (m)

$S_{ph}$  : section du conducteur de phase ( $\text{mm}^2$ )

$n_{ph}$  : nombre de conducteurs de phase en parallèle

$\lambda$  : réactance linéaire des conducteurs

$\lambda = 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$  : câbles multiconducteurs ou monoconducteurs en trèfle

$\lambda = 0,09 \text{ m}\Omega/\text{m}$  : câbles monoconducteurs jointifs en nappe

$\lambda = 0,13 \text{ m}\Omega/\text{m}$  : câbles monoconducteurs séparés

La **chute de tension relative** (en %) est égale à :

$$\Delta u = 100 \cdot \frac{u}{U_0}$$

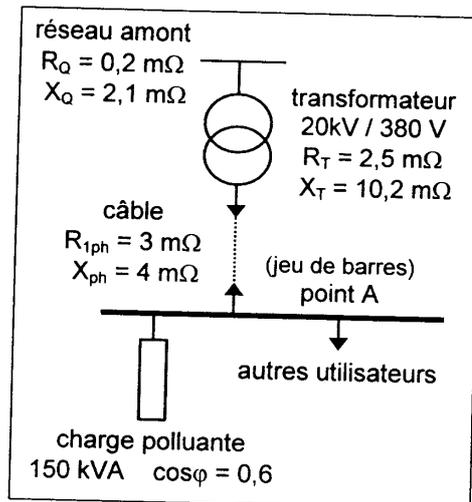
avec  $U_0$  : **tension nominale de l'installation entre phase et neutre**, en V.

**Remarque** : pour calculer la chute de tension due au passage du courant  $I_B$  à un endroit de l'installation, on utilise la formule précédente en additionnant à  $R_{1ph}$  les résistances en amont et en additionnant à  $X_{1ph}$  les réactances en amont.

## Flicker ou scintillement des sources lumineuses

Le flicker correspond à des variations lumineuses ; il résulte de faibles fluctuations de tension provoquées par le fonctionnement de charges variables importantes : fours à arc, soudeuses, moteurs, gradateurs à trains d'ondes. Il provoque une fatigue physique et psychique pour les usagers de l'éclairage raccordés à proximité de la charge perturbatrice.

**exemple :**



La charge polluante est une soudeuse par points.

Le fonctionnement de la soudeuse conduit à une chute de tension au point A :

$$u = [(R_Q + R_T + R_{1ph}) \cdot \cos \varphi + (X_Q + X_T + X_{ph}) \cdot \sin \varphi] \cdot I_B \cdot 10^{-3}$$

$$\text{avec } I_B = 150000 / 3 \cdot U_0 = 228 \text{ A}$$

$$U_0 = \text{tension entre phase et neutre} = 220 \text{ V}$$

$$(R_Q, R_T, R_{1ph}, X_Q, X_T, X_{ph} \text{ en m}\Omega)$$

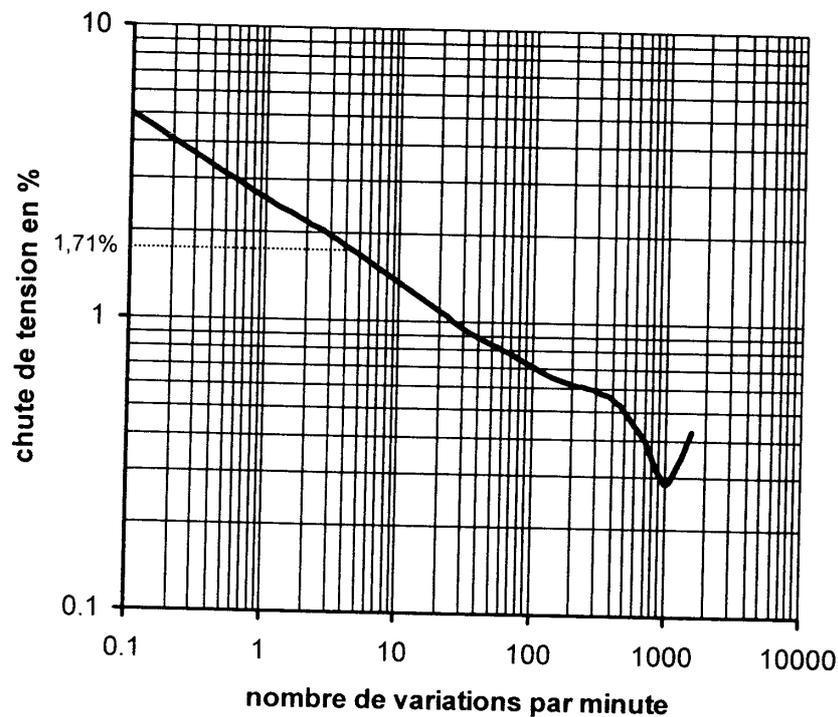
$$\text{ce qui donne : } u = 3,75 \text{ V}$$

d'où une chute de tension relative :

$$\Delta u = 100 \cdot u / U_0 = 1,71 \%$$

La **courbe de flicker** fait apparaître **4 variations maxi** de la chute de tension **par minute**, ce qui correspond à **2 soudures maxi par minute**

(la mise sous tension de la soudeuse donne une variation, la mise hors tension de la soudeuse donne une autre variation).



**courbe de flicker** : nombre maxi de variations par minute d'une chute de tension donnée

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA SÉRIE TC2000

La série **TC2000** des unités à thyristors est destinée au contrôle de puissance électrique de charges industrielles triphasées ou monophasées.

En mode **gradateur de puissance**, les unités commandées par un signal analogique délivrent une puissance de sortie proportionnelle au signal d'entrée, en conduction des thyristors en **train d'ondes** comportant un nombre entier d'alternances.

L'amorçage des thyristors et la mise hors conduction sont synchronisées au zéro de tension pour chaque phase, supprimant les fronts raides de courant qui sont générateurs de perturbations du réseau.

Les unités de la série **TC2000** se composent de **deux voies à thyristors**, ce qui permet d'avoir un branchement monophasé ou un branchement triphasé.

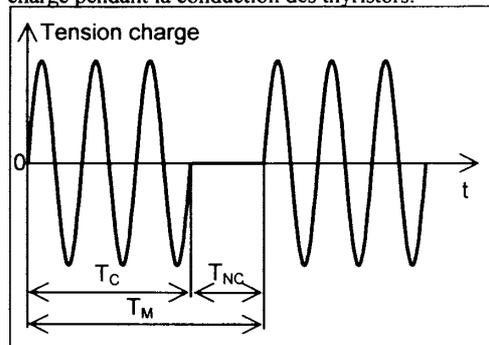
En **branchement triphasé** les unités de la série **TC2000** contrôlent **deux phases** d'une charge triphasée branchée en triangle fermé ou en étoile sans neutre (montage 3 fils).

La gamme des courants nominaux des unités de puissance de la série **TC2000** s'étend de **60 A à 500 A** (en 3 modèles de boîtier) sous des tensions nominales de **120 à 500 V**.

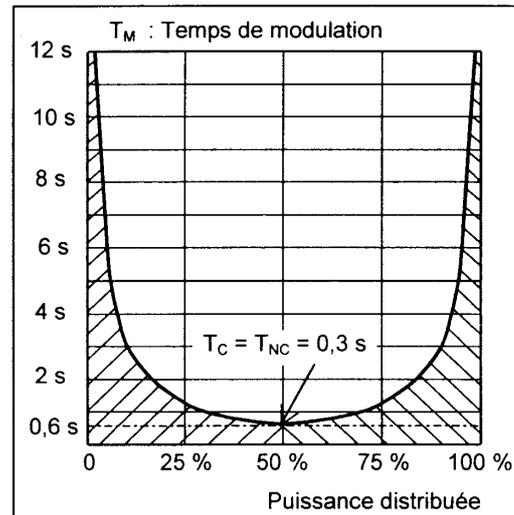
En mode de conduction des thyristors Train d'ondes, la puissance dans la charge est définie par le rapport de la période de conduction des thyristors ( $T_C$ ) et de la période de modulation ( $T_M$ ).

On a  $T_M = T_C + T_{NC}$ ,  $T_{NC}$  représentant le temps de non conduction des thyristors.

La puissance de la charge  $P = \tau \cdot P_{MAX}$  où  $\tau = T_C / T_M$  représente le rapport cyclique et  $P_{MAX}$  représente la puissance de charge pendant la conduction des thyristors.



Périodes de Train d'ondes



Temps de modulation en fonction de la puissance

En utilisant une période de modulation variable suivant la demande de puissance, l'unité TC2000 possède une précision de réglage adaptée à chaque zone particulière de consigne.

- A **50 %** de puissance, la valeur typique de la période de modulation en standard est **0,6 s**, la période de conduction est égale à la période de non conduction.
- Pour une zone **inférieure** à 50 % de la consigne maximale, la période de conduction diminue et la période de modulation augmente.
- Dans la zone de puissance **supérieure** à 50 %, c'est la période de non conduction qui diminue avec l'augmentation de la période de modulation.

Par exemple : - pour une puissance 5 %,  $T_C = 250$  ms,  $T_M = 5$  s  
 - pour une puissance 90 %,  $T_C = 2,25$  s,  $T_M = 2,5$  s

La puissance de sortie est ainsi parfaitement linéaire entre **0 à 100 %** de la puissance maximale pour le signal analogique variant de **4 à 84 %** de l'échelle maximale. La commande ne présente pas de palier de réglage comme dans les unités à période de modulation fixe.

## **"Four de traitement thermique".**

---

### **FEUILLES RÉPONSES**

#### **✍ IMPORTANT**

- ♦ répondre sur les feuilles réponses, un complément pourra être apporté sur une feuille de copie en précisant bien le numéro de la question traitée,
- ♦ rendre toutes les feuilles réponses agrafées dans l'ordre.

#### **MECANIQUE**

QA : (13 points) 2 h 35 min.

QB : (5 points) 1 h

QC : (5 points) 1 h

QD : (10 points) 2 h

QE : (7 points) 1 h 25 min.

Note globale : / 40 points

CODE : EQVAP	FEUILLE RÉPONSE	BTS ÉLECTROTECHNIQUE - AVANT-PROJET	SESSION 2002
--------------	-----------------	-------------------------------------	--------------

**QA-1 :**

phase 1 (t1)	
phase 2 (t2)	
phase 3 (t3)	
phase 4 (t4)	
phase 5 (t5)	
phase 6 (t6)	

**QA-2 :**

<i>Relations utilisées</i>	<i>Données</i>	<i>Résultats</i>
Relation liant Vitesse $l$ , $a_{l1}$ et $t1$	Vitesse $l =$ $a_{l1} =$	$t1 =$
Relation liant $x_1$ , $a_{l1}$ et $t1$		$x_1 =$
Relation liant Vitesse $l$ , $a_{l3}$ et $t3$	$a_{l3} =$	$t3 =$
Relation liant $x_3$ , $a_{l3}$ et $t3$		$x_3 =$
$x_2 =$	$x_1 + x_2 + x_3 = -10,18 \text{ m}$	$x_2 =$
Relation liant Vitesse $l$ , $x_2$ et $t2$		$t2 =$
<b>Conclusion :</b> $t_{\text{TOTAL}} =$		

**QA-3 :**

$n_m$  : fréquence de rotation moteur en  $\text{tr.mn}^{-1}$   
 $\theta'_m$  : vitesse angulaire moteur en  $\text{rad.s}^{-1}$   
 $\theta'_{\text{tamb}}$  : vitesse angulaire tambour en  $\text{rad.s}^{-1}$   
 $v$  : vitesse linéaire du palonnier en  $\text{m.s}^{-1}$

Relations utilisées	Données	Résultats
Relation liant $\theta'_{\text{tamb}}$ , $v$ et $R_t$	$k =$	$\theta'_{\text{tamb}} =$
Relation liant $\theta'_m$ , $k$ , $v$ et $R_t$	$R_t =$	$\theta'_m =$
Relation liant $n_m$ , $k$ , $v$ et $R_t$	$v =$	$n_m =$

**QA-4 :**

$\theta''_m$  : accélération angulaire moteur en  $\text{rad.s}^{-2}$   
 $\theta''_{\text{tamb}}$  : accélération angulaire tambour en  $\text{rad.s}^{-2}$   
 $a_t$  : accélération linéaire du palonnier en  $\text{m.s}^{-2}$

Relations utilisées	Données	Résultats
Relation liant $\theta''_{\text{tamb}}$ , $a_t$ et $R_t$	$a_{t1} =$	phase 1 $\theta''_m =$
	$a_{t2} =$	phase 2 $\theta''_m =$
	$a_{t3} =$	phase 3 $\theta''_m =$
Relation liant $\theta''_m$ , $k$ , $a_t$ et $R_t$	$k =$	phase 4 $\theta''_m =$
	$R_t =$	phase 5 $\theta''_m =$
		phase 6 $\theta''_m =$

CODE : EQVAP	FEUILLE RÉPONSE	BTS ÉLECTROTECHNIQUE - AVANT-PROJET	SESSION 2002
--------------	-----------------	-------------------------------------	--------------

**QA-5 :**

Crs =
Crs =
Creq =

**QA-6 :**

	$\theta''_m$ rad.s <sup>-2</sup>	Couple en sortie du réducteur : $C_{rs} = 3679 + 6,21.\theta''_m$	Couple équivalent ramené sur l'arbre moteur : $C_{req} = C_{rs} / 15,1$	Couple moteur : $C_m = C_{req} + (J_{mot} + J_{eq\ tamb}).\theta''_m$
<i>phase 1</i> (t1)	-212			
<i>phase 2</i> (t2)	0			
<i>phase 3</i> (t3)	182			
<i>phase 4</i> (t4)	212			
<i>phase 5</i> (t5)	0			
<i>phase 6</i> (t6)	-182			

**QA-7 :**

**QA-8 :**

**QA-9 :**

**QA-10 :**

<i>Formule littérale utilisée :</i>
<i>Calcul et résultat :</i>

<i>CODE : EQVAP</i>	<i>FEUILLE RÉPONSE</i>	<i>BTS ÉLECTROTECHNIQUE - AVANT-PROJET</i>	<i>SESSION 2002</i>
---------------------	------------------------	--	---------------------

**QA-11 :**

**QA-12 :**

**QA-13 :**

**QB-1 :**

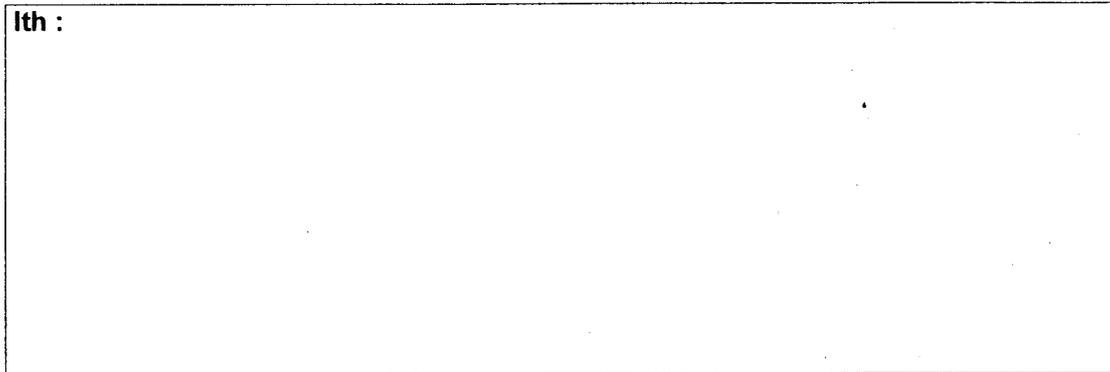
$C_N =$	$\cos\varphi_N =$
$I_N =$	$\sin\varphi_N =$

<i>Données</i>	<i>Développement du calcul</i>	<i>Résultat</i>
(phase 1) <b><math>C_1 = -58 \text{ Nm}</math></b> <b><math>t_1 = 0,71 \text{ s}</math></b>		$I_1 =$
(phase 2) <b><math>C_2 = 183 \text{ Nm}</math></b> <b><math>t_2 = 3,30 \text{ s}</math></b>		$I_2 =$
(phase 3) <b><math>C_3 = 389 \text{ Nm}</math></b> <b><math>t_3 = 0,83 \text{ s}</math></b>		$I_3 =$
(phase 4) <b><math>C_4 = 617 \text{ Nm}</math></b> <b><math>t_4 = 0,06 \text{ s}</math></b>		$I_4 =$
(phase 5) <b><math>C_5 = 325 \text{ Nm}</math></b> <b><math>t_5 = 25,79 \text{ s}</math></b>		$I_5 =$
(phase 6) <b><math>C_6 = 75 \text{ Nm}</math></b> <b><math>t_6 = 0,07 \text{ s}</math></b>		$I_6 =$

CODE : EQVAP	FEUILLE RÉPONSE	BTS ÉLECTROTECHNIQUE - AVANT-PROJET	SESSION 2002
--------------	-----------------	-------------------------------------	--------------

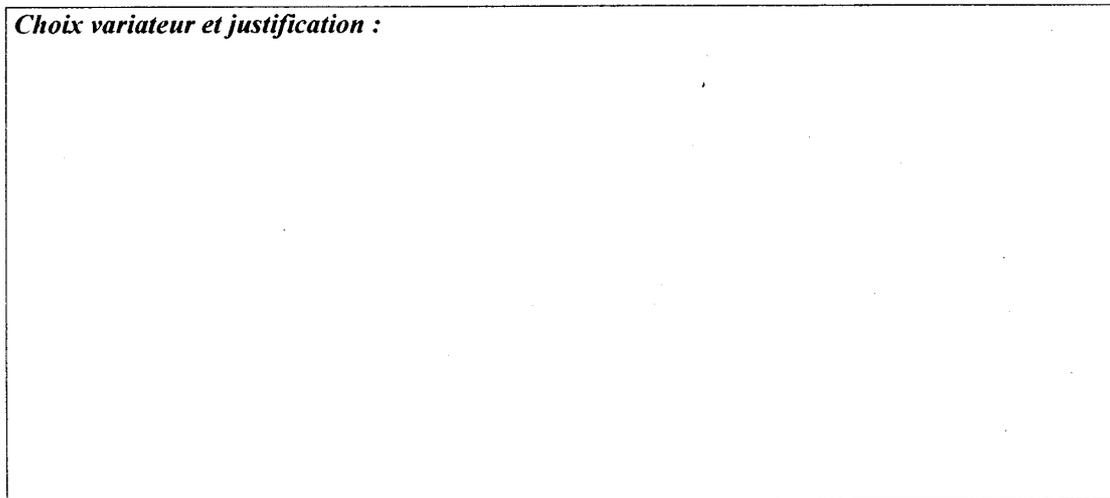
**QB-2 :**

lth :

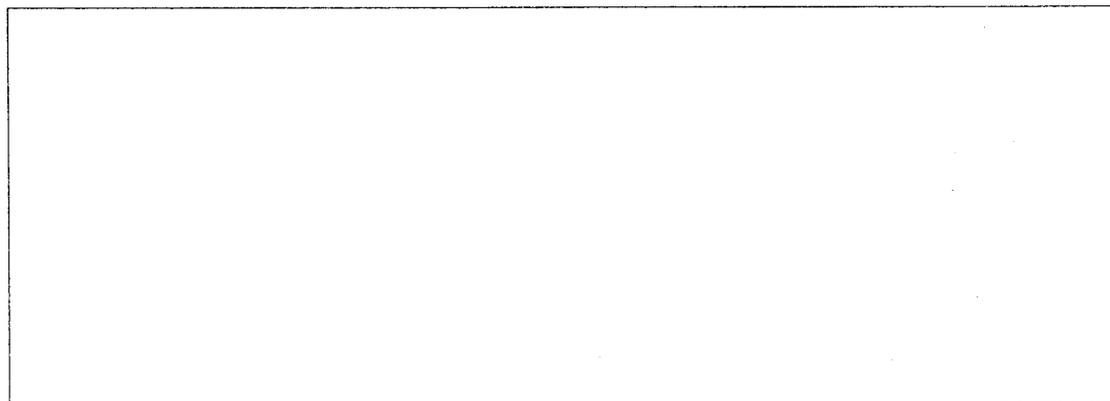


**QB-3 :**

*Choix variateur et justification :*



**QB-4 :**



CODE : EQVAP	FEUILLE RÉPONSE	BTS ÉLECTROTECHNIQUE - AVANT-PROJET	SESSION 2002
--------------	-----------------	-------------------------------------	--------------

**QC-1 :**

<i>Energie potentielle :</i>
<i>Valeur en euro :</i>
<i>Conclusion :</i>

**QC-2 :**

<i>Justification choix RF22500T :</i>
---------------------------------------

CODE : EQVAP	FEUILLE RÉPONSE	BTS ÉLECTROTECHNIQUE - AVANT-PROJET	SESSION 2002
--------------	-----------------	-------------------------------------	--------------

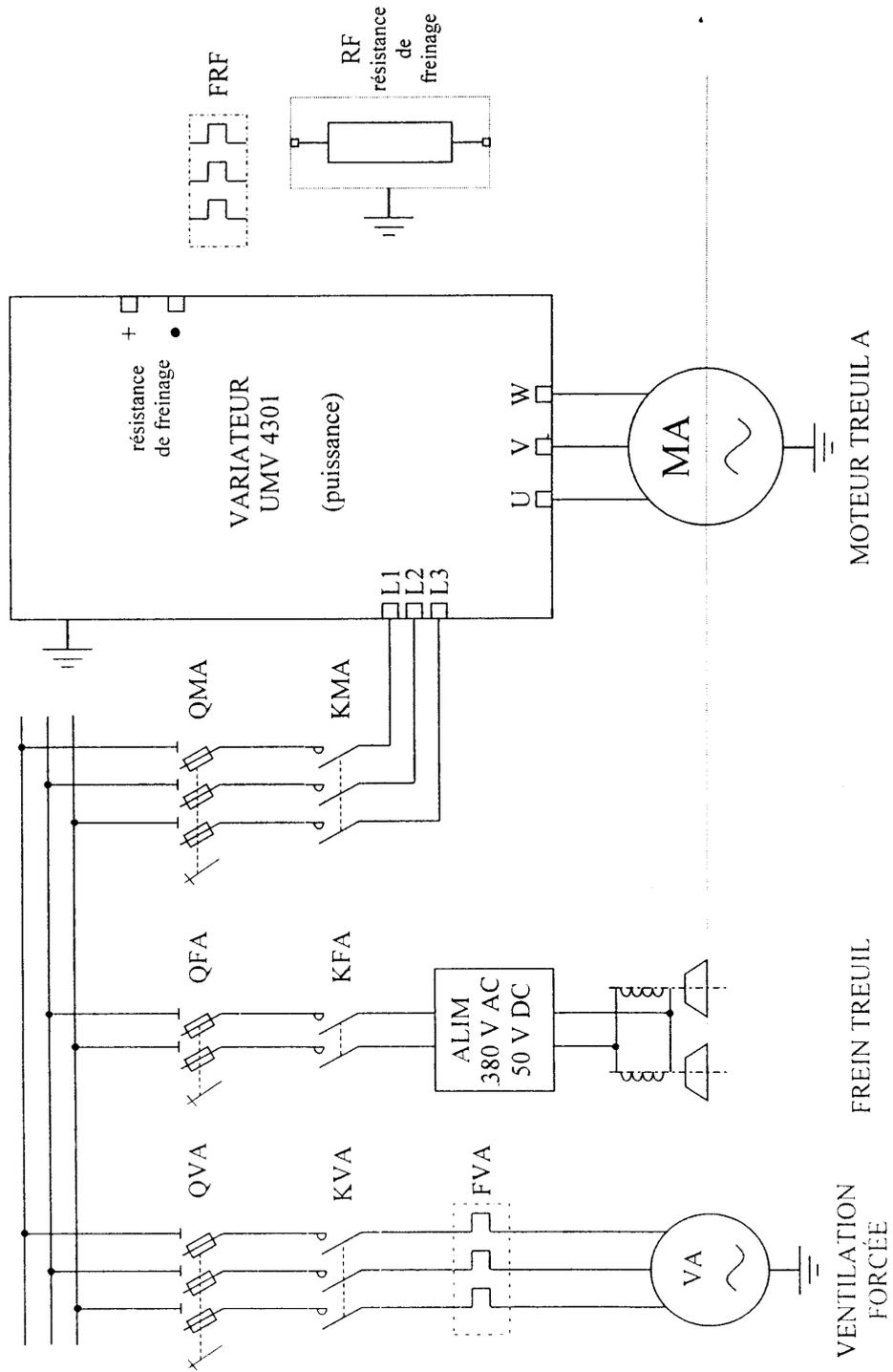
**QC-3 :**

<i>Référence relais thermique :</i>	<i>Réglage :</i>
-------------------------------------	------------------

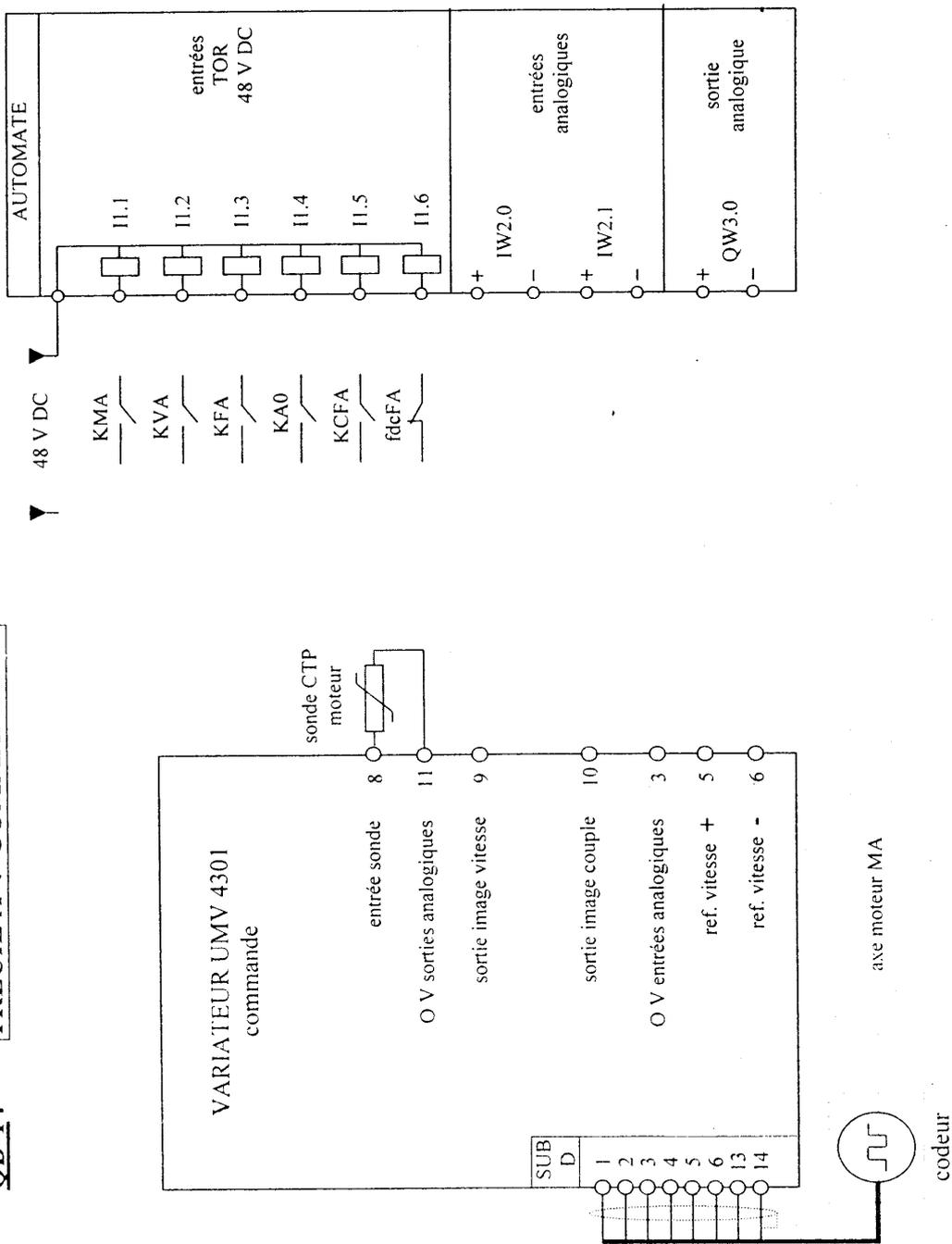
**QC-4 : (câbles moteur)**

<i>Courant d'emploi <math>I_z</math> :</i>	
<i>Lettre de sélection :</i>	<i>K2 :</i>
<i>K1 :</i>	<i>K3 :</i>
<i><math>I_z'</math> :</i>	<i>Choix section :</i>

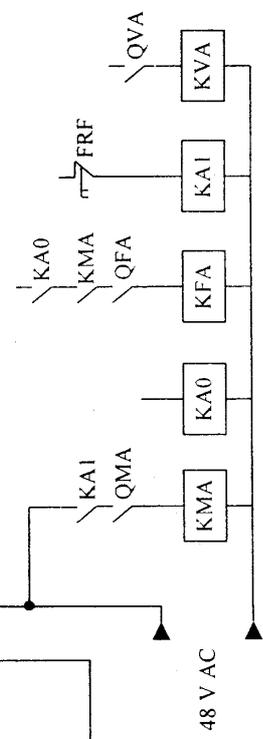
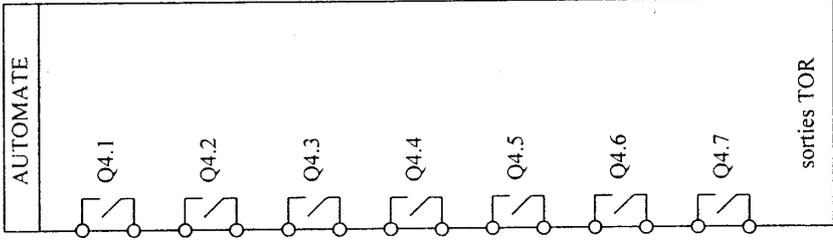
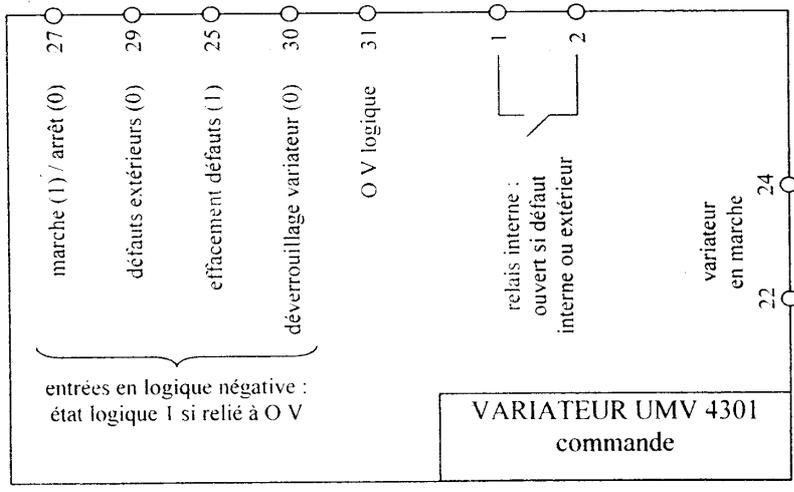
**QD-1: TREUIL A : PUISSANCE**



**QD-1: TREUIL A : COMMANDE 1/2**

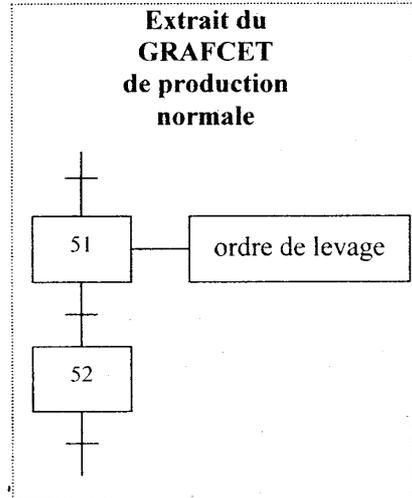
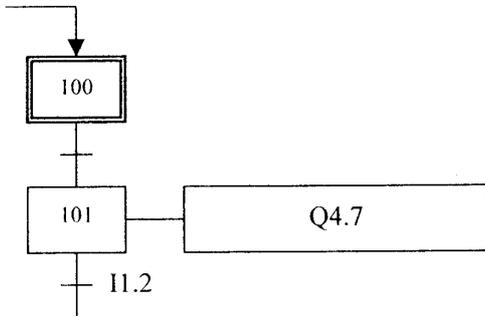


**QD-1: TREUILA : COMMANDE 2/2**

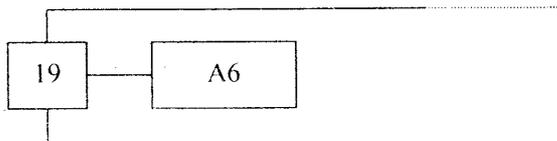
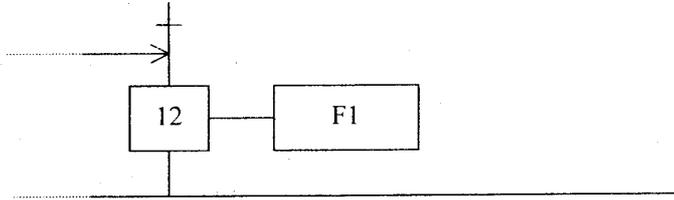


KCFA : bobine 24 V DC  
 KA0, KFA, KMA, KAI et KVA :  
 bobines 48 V AC

**QD-2 : GRAFCET du sous-programme de levage**



**QD-3 : Complément du GRAFCET de conduite**



**QD-4 :**

*Procédures du GEMMA faisant appel au sous-programme de levage :*

**QE-1 :**

<i>Désignation</i>	<b>P</b>	<b>Q</b>
Résistances chauffantes du four		
Ventilateurs de recyclage		
Ventilateur de refroidissement		
Moteurs de porte		
Ensembles treuil de levage 2 x 75 kW		
Moteurs chariot de transfert		
Moteur cloison amovible		
Moteur pompe à eau		
Divers		
<b>total</b>		

**S =**

**Conclusion :**

**QE-2 : (Chute de tension)**

$R_Q =$	$X_Q =$
$R_T =$	$X_T =$
$R_{I_{ph}} =$	$X_{ph} =$
courant $I_B =$	
$u =$	
$\Delta u =$	

**QE-3 :**

<i>Nombre maximum de variations par minute :</i>
<i>Période minimale du cycle de train d'ondes :</i>

CODE : EQVAP	FEUILLE RÉPONSE	BTS ÉLECTROTECHNIQUE - AVANT-PROJET	SESSION 2002
--------------	-----------------	-------------------------------------	--------------

**QE-4 :**

<i>Période minimale :</i>
<i>Conclusion :</i>

**QE-5 :**

--

**QE-6 :**

--