

Partie 1 : Tarification de l'énergie

Omniprésente, l'électricité constitue un fluide énergétique très simple d'utilisation et très largement disponible. Mais, n'étant payable qu'après utilisation, la facture correspondante peut réserver de désagréables surprises. Il faut donc gérer au mieux sa consommation en l'analysant.

La gestion d'énergie a pris un nouvel essor avec l'apparition des compteurs électroniques dans les années 80 (compteur Trimaran pour le tarif Vert, notamment). Ces compteurs de tarification disposent d'une « interface client », qui permet à l'abonné de récupérer des informations stockées dans la mémoire pour être utilisées par des logiciels qui mettent sous forme de courbes ou de tableaux les informations relevées (consommations, appel de puissance, dépassements,...). Ils permettent d'éditer des rapports à intervalles déterminés afin de vérifier que le choix du tarif est ajusté au plus juste.

Pour cette partie, on vous fournit :

- *Annexe du contrat EDF (Tarification – Facturation Tarif Vert A5, option de base) (DT 1)*
- *Un extrait du rapport APAVE sur le prix de l'énergie (DT 2)*
- *Le relevé de la consommation du 01/01/97 au 01/02/97 (DT 3)*
- *La courbe de charge (Puissance en fonction du temps) du mois de janvier (DT 4)*
- *Un duplicata vierge de la facture du mois de février (énergie consommée en janvier)*

1.1 Justification du type de tarif :

1.1.1. Donner le type de tarif puis justifier ce choix en fonction des impératifs de production de l'entreprise ?

La société fonctionne 24h/24 pendant 230 jours soit un fonctionnement de 5520 Heures. D'après DT 1, on choisira la version LONGUE UTILISATION
La classe est A5 VERT

1.1.2. Les puissances en P, HPH, HCH, HPE, et HCE sont les mêmes et valent 640 kW. Justifier ce choix.

L'usine fonctionnant 24 h/24 on retrouve une puissance consommée identique quelque soit l'heure et la date.

1.2 Justification du coût de la consommation :

Afin d'optimiser les factures, il convient de bien la comprendre. On se propose donc de recalculer la facture du mois de Février 97 (énergie consommée en janvier 97).

1.2.1 Justifier la valeur de la puissance réduite à partir des données du DT 2. Celle-ci est minorée de 4 % (pour cause de contrat de 6 ans), elle devient alors la puissance taxable(Pt).

| | | | | |
|--|----------|----------|----------|-------------------------|
| Préduite est égale à | | | | |
| $Pr = k1P1 + k2(P2-P1) + k3(P3-P2) + k4(P4-P3)+k5(P5-P1).$ | | | | |
| $K1 = 640 \text{ kW}$ | | | | |
| K1=1 | K2 =0,75 | K3 =0,31 | K4 =0,14 | K5 = 0,06 |
| | | | | $Pt = 614,4 \text{ kW}$ |

1.2.2. En déduire la somme de la prime fixe **mensuelle** (Hors Taxes !!!). Reporter la somme sur la ligne correspondante sur la facture vierge

1.2.3. En utilisant DT 3 et DT 4 et en appliquant le tarif en vigueur donné DT 2,

1.2.3.1. Exprimer à partir de DT1, la formule permettant de calculer le coût des pénalités dues aux dépassements.

$$\sqrt{\sum P_{\text{pointe}}^2} * \text{prix}(\text{pointe}) + \sqrt{\sum P_{\text{heurepleine}}^2} * \text{prix}(\text{pleine})$$

1.2.3.2 Calculer et reporter cette somme sur la ligne correspondante sur la facture vierge.

$$3\text{kW} \times 21,68 \text{ frs} = 65,04 \text{ frs} : \sqrt{10^2 + 3^2 + 22^2} \text{ kW} \times 16,26 = 395,931 \text{ frs}$$

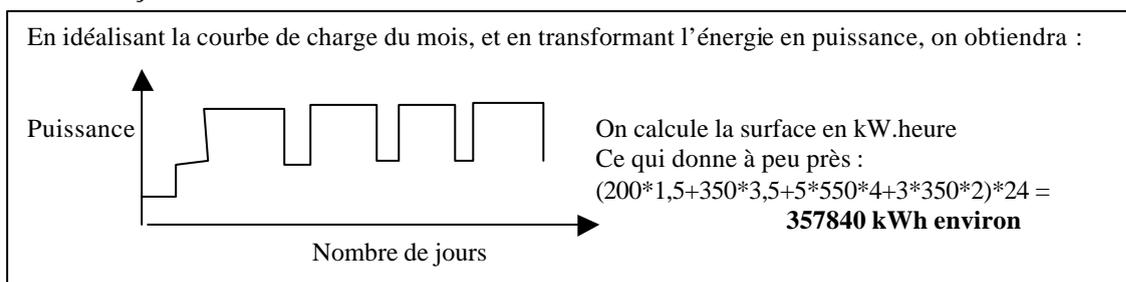
soit au total : 460,97 frs

1.2.3.3. Reporter l'énergie active enregistrée en Heure de Pointe pendant le mois sur la colonne consommation à facturer. En déduire la somme due puis reporter la sur la facture vierge.

1.2.3.4. Reporter l'énergie active enregistrée en Heure Pleine d'Hiver pendant le mois sur la colonne consommation à facturer. En déduire la somme due puis reporter la sur la facture vierge.

1.2.3.5 Reporter l'énergie active enregistrée en Heure Creuse d'Hiver pendant le mois sur la colonne consommation à facturer. En déduire la somme due puis reporter la sur la facture vierge.

1.2.3.6. Donner l'énergie active totale consommée pendant le mois. Retrouver la valeur de l'énergie active totale consommée en idéalisant la courbe de charge (DT 4) et en énonçant votre démarche.





ELECTRICITE DE FRANCE

N° TVA FR 03 552 081 317

FACTURE SUR RELEVÉ
N° 97034 00491 08 DU 04/02/97

Nom et adresse du lieu de consommation

Nom et adresse du destinataire de la facture

10 FEV. 1997

19/02/97

Notre référence: 212 05232 07757 00 79

| PRIMES FIXES, REDEVANCES ET FRAIS DIVERS | | | | | | | MONTANTS (en francs) |
|--|-----------------------------------|--|--------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| PRIME FIXE FEVRIER (MINOREE DE 4,0% POUR CONTRAT DE 6 ANS) | | | | | | | 22800,38 |
| DEPASSEMENT: | | | | | | | 460,97 |
| * REDEV. LOCATION ET ENTRETIEN DU COMPTAGE | | | | | | | 281,75 |
| ENERGIE ACTIVE | | | | | | | (6=1-2+3+4-5) |
| Periode tarifaire | Consommation enregistrée 1 | Consommation accessoire 2 | Pertes fer 3 | Pertes Joule 4 | Consommation en décompte 5 | Consommation à facturer 6 | Prix unitaire en centimes |
| P | 54767 | | | | | 54767 | 70,88 |
| HPH | 164576 | | | | | 164576 | 43,05 |
| HCH | 132836 | | | | | 132836 | 29,12 |
| TOTAL | 352179 | | | | | 352179 | |
| ENERGIE RÉACTIVE (en kvarh) FACTURÉE SUR LA BASE TANGENTE PHI = 0,40 | | | | | | | |
| Energie réactive mesurée en P+SP | Energie active mesurée en P+HP | Tangente Phi au secondaire primaire | Kvarh consommés | Kvarh en franchise | Kvarh à facturer | Prix unitaire en centimes | |
| 143287 | 219343 | 0,653 | 143287 | 87737 | 55550 | 12,20 | 6777,10 |
| MINORATION (0,30%) | | | | | | | 536,01 |
| TOTAL GÉNÉRAL HORS TAXES | | | | | | | 178096,75 |
| CALCUL DES TAXES | | | | | | | |
| TVA PAYÉE SUR LES DÉBITS : | | | | | | | |
| MONTANT PRELEVÉ | | | | | | | 214830,63 |
| AUCUN ESCOMPTE N EST ACCORDÉ POUR PAIEMENT ANTICIPE | | | | | | | |

Les rubriques précédées d'un * ne sont pas soumises aux taxes locales, celles précédées de ** ne sont pas taxables

1.2.4 La facturation de l'énergie réactive ne s'effectue qu'en hiver et pendant les périodes HP et HPH.

1.2.4.1 Remplir toutes les colonnes de la ligne Energie Réactive sachant que :

- L'énergie réactive en franchise est l'énergie réactive consommée lorsque tan phi est égale à 0,4.
- L'énergie réactive à facturer est la différence entre l'énergie réactive mesurée et l'énergie réactive en franchise
- L'Energie réactive mesurée et les kvarh consommées sont de valeurs identiques.

1.2.4.2 En déduire, la somme de la pénalité due à la consommation excessive d'énergie réactive et reporter la sur la facture vierge

1.2.5 Calculer la somme hors taxes de la facture en tenant compte de la minoration de 0,3 %, puis calculer la somme TTC (TVA à 20,6 %) à prélever pour ce mois. Reporter ces sommes sur la facture vierge.

1.3 Optimisation de la facture EDF :

Il s'agit de vérifier dans cette partie, que le tarif qui avait été choisi correspond toujours à l'obtention d'une facture la moins élevée.

L'étude annuelle de la facturation amène aux conclusions suivantes :

Energie active annuelle consommée pendant 1 an (365 jours) : 3 777 481 kWh soit une somme totale de 1 623 036 Frs

Facturation totale annuelle due aux dépassements de puissance : 5000 Frs.

1.3.1. Pour limiter la pénalité de dépassement, on décide d'augmenter les puissances souscrites. Au vu des impératifs de production de l'entreprise, et du contrat fourni DT 1, quelle est la contrainte imposée pour l'augmentation minimale des puissances souscrites. Donner dans ce cas les nouvelles valeurs des puissances en P, HPH, HCH, HPE, HCE arrondies à la dizaine de kW supérieure.

Les puissances souscrites pourront être augmentées par avenant, pendant la durée du contrat, par tranches d'au moins 5% et 20 kW de la puissance concernée. De plus les augmentations sont dépendantes entre elles. On ne peut augmenter P2 si on augmente pas P1.

Ce qui fait une augmentation pour obtenir 672 kW soit 680 kW

HPH=P=HCH=HPE=HCE=680 kW soit une puissance réduite de 680 kW et une puissance taxable de $680 \text{ kW} * 0,96 = 652,8 \text{ kW} = P_t$

1.3.2. Comment vont se répercuter ces augmentations de puissances souscrites dans la facturation. Est-ce financièrement intéressant ? Justifier votre réponse.

Les dépassements seront fortement diminués, la prime fixe augmentera :
Prime fixe annuelle : $652,8 \times 445,32 = 290704,88$ F soit une augmentation de
17100,32 F

Les dépassements sont facturés 5000 F. Donc on perd environ 12100,32 F en prenant ce contrat. Ce n'est donc pas intéressant.

1.3.3. Etude de l'influence d'une consommation excessive d'énergie réactive.

1.3.3.1 La puissance absorbée par l'entreprise est P sous une tension de U_n . En considérant un facteur de puissance égale à 1, donner la relation entre le courant I absorbé et ces grandeurs.

$$I = \left(\frac{P}{\sqrt{3}U_n} \right)$$

1.3.3.2 Donner l'expression de la chute de tension ΔU_n dans l'ensemble transformateur et câble lorsque le $\cos \varphi = 1$ (on note R la valeur de la résistance équivalente de l'ensemble et X la valeur de la réactance équivalente de l'ensemble).

$$\Delta U_n = \sqrt{3}(R \cos \mathbf{j} + X \sin \mathbf{j}).I = \sqrt{3}R.I$$

1.3.3.3 Exprimer la relation des pertes joules P_j en fonction de R et I

$$P_j = 3RI^2$$

1.3.3.4 Donner la relation entre la puissance P et la tension U et le courant I' lorsqu'on a un facteur de puissance inférieur à 1 et étant égal à $\cos \varphi'$. Exprimer dans ce cas la relation existante entre I et I'.

$$I' = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \mathbf{j}'}, \quad I = \frac{I'}{\cos \mathbf{j}'}$$

1.3.3.5 Exprimer la chute de tension $\Delta U_n'$ dans l'ensemble transformateur et câble (on note R la valeur de la résistance équivalente de l'ensemble et X la valeur de la réactance équivalente de l'ensemble). Donner la relation entre ΔU_n et $\Delta U_n'$ en fonction de $\tan \varphi'$, X et R.

$$\Delta U_n' = \sqrt{3}(R \cos \mathbf{j}' + X \sin \mathbf{j}').I'$$

$$\Delta U_n' = \Delta U_n \left(1 + \frac{X}{R} \tan \mathbf{j}' \right)$$

1.3.3.6 Exprimer la relation des pertes joules P_j' . Donner la relation entre P_j et P_j' .

$$P_j' = 3RI'^2 = P_j / \cos^2 \phi'$$

1.3.3.7 Au vu des calculs réalisés précédemment, que peut-on dire des inconvénients liés à la consommation excessive d'énergie réactive.

Le courant augmente dès que le $\cos \phi$ diminue. La température augmente car les pertes joules augmentent. La chute de tension augmente quand le $\cos \phi$ diminue.

Il faut donc prévoir des sections de câbles plus importantes. Les disjoncteurs sont à revoir, ainsi que le Pouvoir de Coupure.

Le transformateur étant dimensionné par la puissance apparente, on peut avoir des pertes plus importantes, et donc un rendement qui diminue.

1.3.4 Calcul de la puissance de la batterie à installer :

Après l'étude annuelle de la consommation d'énergie, on constate que l'énergie réactive facturée est importante. On va donc étudier la possibilité de réduire la facture en compensant l'énergie réactive à l'aide de condensateurs montés en gradins. On comparera deux méthodes de calculs des gradins et on choisira la solution la plus rentable à court terme (3 ans).

Pour cela on vous donne le tableau suivant représentatif de l'énergie consommée en HIVER de l'année ($\tan \phi$: 3 chiffres après la virgule arrondie au plus près)

| Mois | Energie active kWh | Energie réactive kVARh | Tan j | Energie réactive en franchise kVARh | Energie réactive à compenser kVARh |
|------------------------|--------------------|------------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Novembre (30 jours) | 169092 | 110417 | 0,653 | 67637 | 42780 |
| Décembre (31 jours) | 140717 | 81616 | 0,580 | 56287 | 25329 |
| Janvier (31 jours) | 219343 | 143287 | 0,653 | 87737 | 55550 |
| Février (28 jours) | 205172 | 139517 | 0,680 | 82069 | 57448 |
| Mars (31 jours) | 215648 | 127232 | 0,590 | 86259 | 40973 |

1.3.4.1 On choisit la batterie en fonction de l'énergie maximale à compenser. Donner la valeur de la puissance réactive de la batterie de condensateur à choisir.

C'est au mois de février, que l'on trouve une énergie réactive à compenser la plus forte. 57448 kVARh consommée en 24 jours (28 jours – 4 dimanche) de 16 H (24 H – 8 H heures creuses) voir DT1 paragraphe 1.2 et 4.4. soit une puissance de :
 $57448 / (24 * 16) = 149,6 \text{ kVAR}$

1.3.4.2. Choisir la batterie de condensateur nécessaire à l'aide du DT 5

MS 180-44 d'une puissance de 150 Kvar sous 400 V

1.3.4.3. On décide maintenant d'étudier le même problème, mais en dimensionnant la batterie de condensateur à gradins en fonction de la valeur moyenne de l'énergie à compenser. Calculer la puissance de la batterie de condensateurs à utiliser.

Hypothèses : 4 dimanche par mois

$$Q_{\text{moy}} = (42780 + 25329 + 55550 + 57448 + 40973) / ((26 + 27 + 27 + 24 + 27) * 16)$$

$$Q_{\text{moy}} = 105,95 \text{ kVAR}$$

1.3.4.4 Choisir la batterie de condensateur nécessaire

MS150-44 d'une puissance de 125 Kvar sous 400 V

Les prix des batteries de condensateurs série MS sont :

| Batterie série MS | Prix (HT) |
|-------------------|------------------|
| MS 90 44 | 24882 Frs |
| MS 120 44 | 31764 Frs |
| MS 150 44 | 36052 Frs |
| MS 180 44 | 39900 Frs |
| MS 210 44 | 43252 Frs |

1.3.4.5. Donner le coût de la pénalité annuelle due au dépassement d'énergie réactive si on installe la batterie de la question 1.3.4.4.

Pour le MS150-44, il existera des pénalités :

Novembre : $42780 - 125 * 26 * 16 < 0$ donc pas de pénalité

Décembre : $25329 - 125 * 27 * 16 < 0$ donc pas de pénalité

Janvier : $55550 - 125 * 27 * 16 = 1550 \text{ kVARH}$: pénalité de $1550 * 0,122 = 189,1 \text{ F HT}$

Février : $57448 - 125 * 24 * 16 = 9448 \text{ kVARH}$: pénalité de $9448 * 0,122 = 1152,66 \text{ F HT}$

Mars : $40973 - 125 * 27 * 16 < 0$ donc pas de pénalité

Au total, la pénalité s'élève à 1341,76 F HT pour l'année

1.3.4.6. En considérant que la consommation d'énergie reste approximativement la même pendant 3 ans, quelle est la batterie de condensateur à choisir pour optimiser la facture. Conclure.

MS 180-44 coûte 39900 Frs

MS 150-44 coûte 36052 Frs

Soit une différence de 3848 Frs.

Il faudra $(3848 / 1341,76) = 2$ ans et 10 mois environ pour amortir le prix, ce qui est inférieur à 3 ans

C'est donc la méthode 1 (énergie maximale) qui sera choisit dans ce cas.

1.3.4.7. Calculer la valeur du condensateur équivalent lorsque la puissance de la batterie de condensateurs (couplés en triangle) est de 150 kVAR sous une tension de 400 V. En déduire le courant absorbé par le condensateur.

$$Q = 3U^2Cw \Rightarrow C = 995 \mu\text{F}$$

$$I = Ucw = 125 \text{ A}$$

1.3.4.8. A l'aide du DT 6, donner le calibre et le réglage thermique (= I_r : courant de réglage) du disjoncteur protégeant la batterie de condensateur. Justifier la valeur du réglage thermique.

Courant en ligne = 216,6 A ; les condensateurs peuvent supporter $1,3 * 216,6 = 281,5 \text{ A}$.
donc il faut régler I_r à 300 A soit à $\frac{3}{4}$ du calibre du disjoncteur.

Partie 2 : La distribution de l'usine RVE

Le schéma unifilaire simplifié de l'installation est représenté DT 7. On s'intéressera plus particulièrement au transformateur de distribution, au disjoncteur général DG01 et à l'alimentation de l'atelier de fabrication n°1 pour lequel, DT 8, on trouvera le carnet de câbles.

2.1 Etude du transformateur général HTA/BTA :

2.1.1. Définir les niveaux de tensions ; BTA ; BTB ; HTA ; HTB.

HTA : 1000 à 50 kV
HTB : >50 kV
BTA : 50 à 500 V
BTB : 500 à 1000V

2.1.2. La plaque signalétique est donné dans le DT 9.

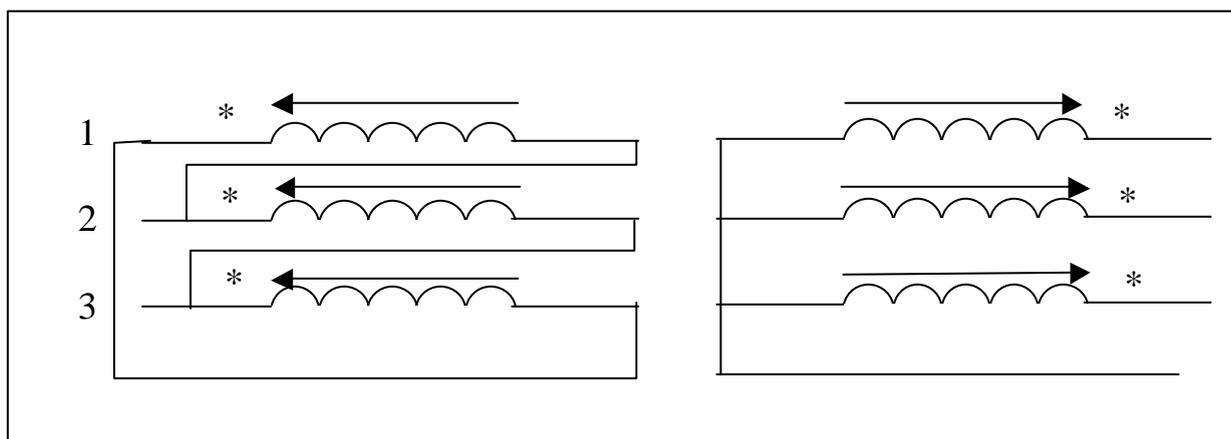
2.1.2.1. Calculer le rapport de transformation m entre les tensions composées.

$$m = U_{20}/U_1 = 0,0205$$

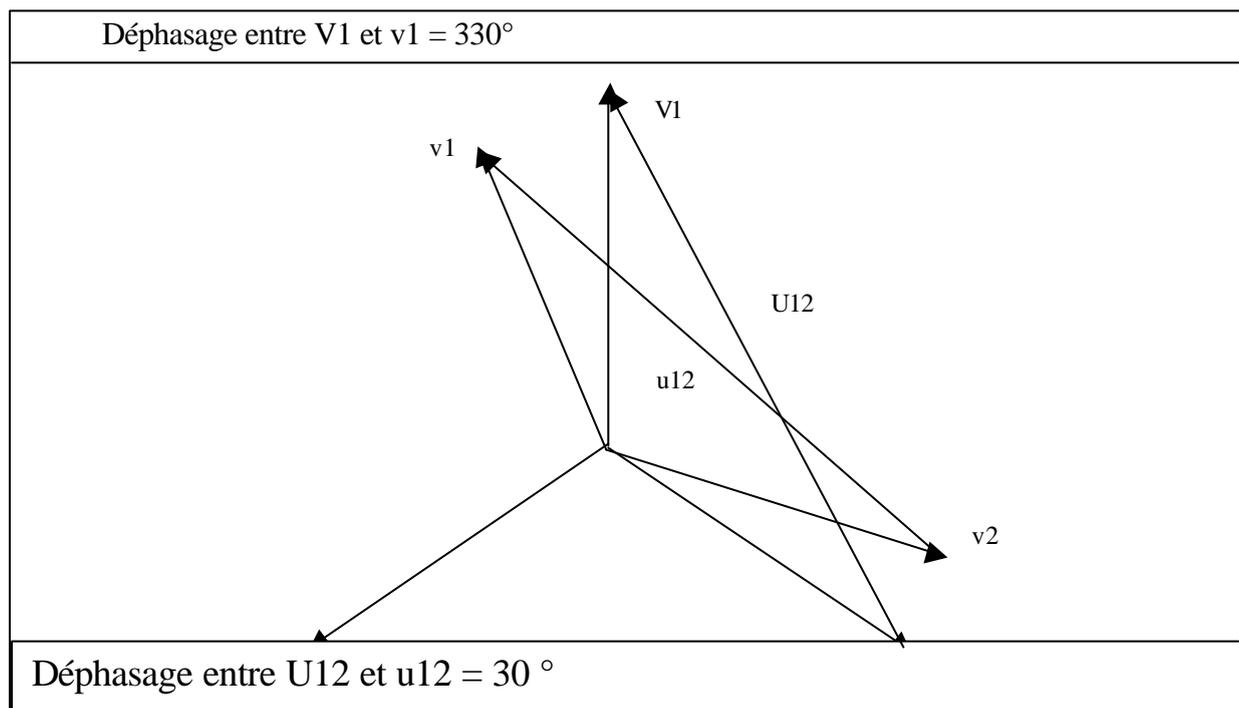
2.1.2.2. Donner la relation entre m et m^* (rapport entre le nombre de spires). Calculer le rapport de transformation m^* .

$$m^* = m/\sqrt{3} = 0.01183$$

2.1.2.3. Représenter les connexions entre les enroulements sur le schéma suivant :



2.1.2.4. Donner le déphasage qui existe entre la tension simple primaire V_1 et la tension simple au secondaire v_1 . Compléter le diagramme vectoriel. En déduire le déphasage entre la tension composée au primaire U_{12} et la tension composée au secondaire u_{12}



2.1.2.5. Justifier les valeurs du courant primaire et secondaire données sur la plaque signalétique.

$$I_1 = \frac{S}{\sqrt{3}U_1} = \frac{2500000}{34641} = 72,16 \text{ A}$$

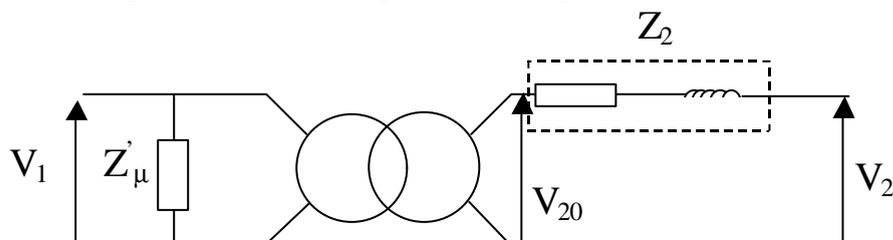
$$I_2 = \frac{S}{\sqrt{3}U_{20}} = \frac{2500000}{710,14} = 3520,4 \text{ A}$$

2.1.2.6. Donner une définition précise de U_{cc} (en %).

La tension U_{cc} est le pourcentage de la tension à mettre au primaire, pour avoir le courant nominal I_{2n} au secondaire lorsque celui-ci est en court-circuit

$$I_{2n} = \frac{U_{cc} \cdot V_{20}}{100 Z_2}$$

La figure suivante représente le schéma équivalent monophasé du transformateur.



2.1.2.7 Donner la valeur de la tension V_1 , V_{20} .

On considère que le schéma équivalent du transformateur est un schéma étoile étoile

$$V_1 = 20 \text{ kV} / \sqrt{3}$$

$$V_{20} = 410 / \sqrt{3} = 236,7 \text{ V}$$

2.1.2.8 Calculer la valeur de l'impédance vu du secondaire Z_2 .

A l'aide de U_{cc} (%) on trouve
 $Z_2 = U_{cc} \cdot V_{20} / (100 \cdot I_{2n}) = 5,97 \text{ m}\Omega$

2.1.2.9. sachant que la chute de tension lorsque le $\cos \varphi = 1$ à I_{2n} est égale à 2 % de U_{20} ; Calculer la valeur de la résistance R_2 , puis la valeur de la réactance X_2 .

$$\Delta u = \sqrt{3} R_2 \cdot I_{2n} = 2\% \text{ de } U_{20} \text{ soit } 8,2 \text{ V}$$

$$R_2 = 1,345 \text{ m}\Omega$$

$$X_2 = \sqrt{Z_2^2 - R_2^2} = 5,82 \text{ m}\Omega$$

2.2 Choix du disjoncteur général DG01 :

On désire choisir le disjoncteur général DG01 qui se trouve à la sortie du transformateur général. Dans les calculs, on négligera l'impédance des jeux de barres, des disjoncteurs et des gaines à barres. La résistivité du cuivre est de $1,9 \cdot 10^8 \Omega \cdot \text{m}$. La réactance linéique est égale à $X_c = 0,12 \text{ m}\Omega/\text{m}$ pour un câble monoconducteur.

2.2.1. Rassembler les éléments nécessaires pour choisir le disjoncteur DG01.

3520 A
 410 V
 4 pôles
 PdC

Le réseau amont au poste de transformation peut délivrer en cas de court-circuit une puissance de 500 MVA. Pour tenir compte de ce réseau, on traduit son influence par une impédance Z_r (ramenée au secondaire du transformateur) définie par la relation :

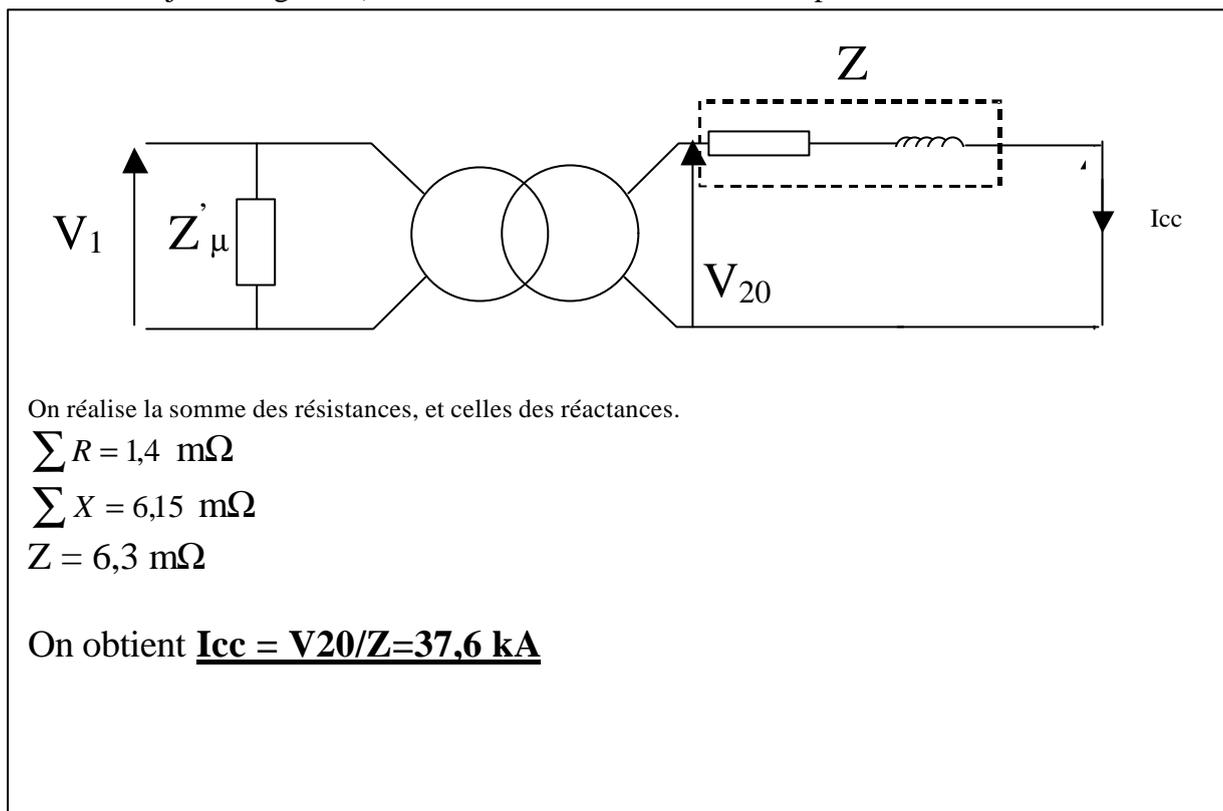
$$Z_r = \frac{U_{20}^2}{S_{cc}} = R_r + jX_r;$$

2.2.2 Calculer la valeur de cette impédance. Sachant que $X_r/R_r = 6$, calculer la valeur de la résistance, puis la valeur de la réactance.

$$R_r = 410^2 / 500 \cdot 10^6 = 55,27 \mu\Omega$$

$$X_r = \sqrt{37} R_r = 0,3316 \text{ m}\Omega$$

2.2.3 Calculer la valeur du courant de court-circuit au point A (au niveau du jeu de barre sortant du disjoncteur général) en vous aidant des résultats trouvés précédemment.



2.2.4. Donner la référence du disjoncteur général (voir DT 10). Vérifier son pouvoir de coupure et la compatibilité avec le schéma de l'installation.

Référence : M40 H1 masterpact de 4000 A
 H1(PdC = 75kA > 37,6kA) ET débrochable (voir le symbole DT 7)

2.2.5. On associe au disjoncteur un module STR 28 D dont les caractéristiques se trouvent sur DT 11. Quel est son rôle ?

Le module STR28D est un module déclencheur magnéto-thermique. Il sert à détecter les surintensités : les court-circuit et les surcharges. Il est monté sur le masterpact et donne l'ordre de déclencher lors d'un problème

2.2.6. Expliquer ce que signifie les termes suivants :

LR : Long Retard : correspond à la protection contre les surcharges (phénomène de longue durée, d'où le nom)

INST : Instantanée : correspond à la protection contre les courts-circuits (phénomène de courte durée, d'où le nom)

TEMPORISATION MAXIMUM t_r :

temps de déclenchement t_r pour un courant donné sur le LR

2.2.7 Expliquer pourquoi le constructeur a-t-il introduit I_0 dans les possibilités de réglages.

Le fait d'introduire I_0 permet d'affiner le réglage.

On règle I_0 en premier, puis on règle le I_r à partir de I_0 .

Grâce à cet artifice on multiplie le nombre de réglage possible soit 32 possibilités.

2.2.8 Donner le réglage de I_0 , I_r en fonction des caractéristiques du réseau et du ST28D.

Note : I_0 a 4 crans : 1 ; 0,5 ; 0,63 ; 0,8 ; 1 de I_n

I_r a 8 crans : 0,8 ; 0,85 ; 0,88 ; 0,9 ; 0,92 ; 0,95 ; 0,98 ; 1 de I_0

$$I_0 = 1$$

$$I_r = 0,88$$

2.3 Choix du câble d'alimentation du canalis n°3 alimentant la fabrication n°3

Le DT 8 rassemble l'ensemble des sections des câbles sur le canalis n°3. Il s'agit dans cette partie de justifier le choix de la section du câble (monoconducteur) alimentant ce canalis. Ce câble est supporté par un chemin de câbles horizontal perforé. Ce chemin de câbles supporte d'autres circuits. L'ensemble est disposés en deux couches de 7 circuits. La température ambiante autour des câbles est de 35°C.

On donne :

| Récepteur | Puissance active (P) | Puissance réactive (Q) |
|------------------|----------------------|------------------------|
| ALIM PM1 | 40 kW | 30 kVAR |
| ALIM PM2 | 40 kW | 30 kVAR |
| ALIM ETUVE | 70 kW | 50 kVAR |
| ALIM CONV 1 | 2 kW | 1,3 kVAR |
| ALIM Cab peint 1 | 3 kW | 400 VAR |
| ALIM Cab peint 2 | 3 kW | 400 VAR |
| ALIM Pompe 1 | 2,2 kW | 1,5 kVAR |
| ALIM Pompe 2 | 2,2 kW | 1,5 kVAR |
| ALIM Pompe 3 | 2,2 kW | 1,5 kVAR |
| ALIM Pompe 4 | 2,2 kW | 1,5 kVAR |
| ALIM Pompe 5 | 2,2 kW | 1,5 kVAR |
| ALIM Pompe 6 | 2,2 kW | 1,5 kVAR |
| ALIM Pompe 7 | 2,2 kW | 1,5 kVAR |
| ALIM Pompe 8 | 2,2 kW | 1,5 kVAR |
| ALIM TH REG 1 | 76 kW | 27 kVAR |
| ALIM TH REG 2 | 76 kW | 27 kVAR |

2.3.1 A l'aide de DT 12, justifier la valeur de la section du câble d'alimentation du canalis n°3.

Le câble est un $3 \times 2 \times 185 \text{ mm}^2$

Il faut connaître le courant d'emploi I_b , tenir compte du mode de pose, de la température, etc...

Calcul de I_b ($=I_z$):

$$\Sigma P = 327,6 \text{ kW} ; \Sigma Q = 178,1 \text{ kvar} \Rightarrow S = 372,88 \text{ kVA}$$

$$I_b = 538,2 \text{ A avec une tension du réseau de } 400 \text{ V.}$$

On admet un réglage du disjoncteur $I_{th} = 540 \text{ A}$

Chaque phase est constituée par 2 conducteurs. Le courant traversant chaque conducteur est donc égale à 269,1 A.

$$K = 1 ; F_1 = - ; F_2 = - ; F_3 = 0,93 ; F_4 = - ; F_5 = - ; F_6 = 0,73 ; F_7 = 0,8$$

$$I_z = 1 \cdot 270 / (0,93 \cdot 0,73 \cdot 0,8) = 497 \text{ A}$$

D'après tableau S4 = ref F

D'après le tableau S8 :

PR3 mode F on prend 506 =>

soit une section de 185 mm^2 par câble

2.3.2 Vérifier que la chute de tension ΔU entre le transformateur et l'utilisation soit compatible avec la norme ($\Delta U (\%) < 8 \%$). On donne $U_2 = 400 \text{ V}$. On notera ΔU_1 la chute de tension existante entre le transformateur et le canalis n°3, et ΔU_2 la chute de tension existante entre le canalis n°3 et l'utilisation. ΔU_2 sera estimé à 3 %.

Note : Utiliser les résultats précédents pour estimer la chute de tension.

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot (R \cdot \cos\phi + X \sin\phi) I_b$$

$$\cos\phi = P/S = 0,878 \Rightarrow \sin\phi = 0,478$$

Le câble a une longueur de 70 m en cuivre.

$$R = \rho l/S = 1,9 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \cdot 70 \text{ m} / 185 \cdot 10^6 = 7,19 \text{ m}\Omega$$

$$X = 0,12 \text{ m}\Omega \cdot 70 \text{ m} = 8,4 \text{ m}\Omega$$

La phase est constituée de 2 câbles de 185 mm^2 . On prendra donc $I_b = 262,55 \text{ A}$

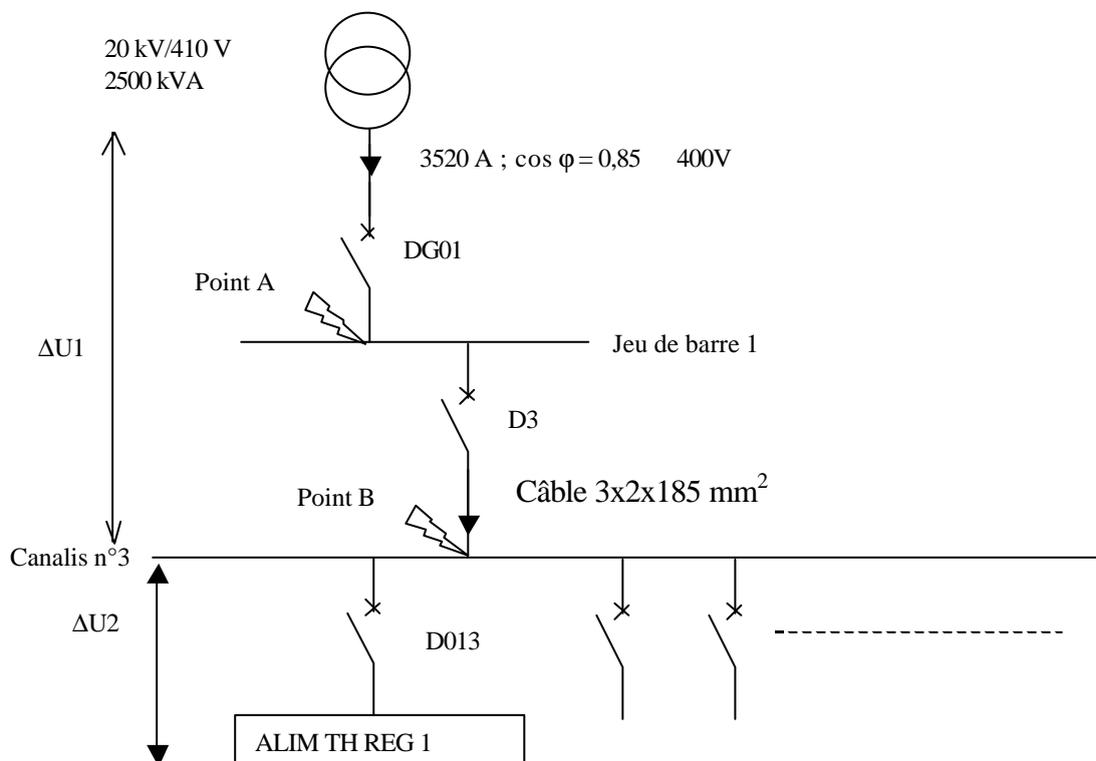
$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot (7,19 \cdot 10^{-3} \cdot 0,878 + 8,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,478) \cdot 269,1 = 4,81 \text{ V} \text{ donc } 1,2 \% \text{ de } 400 \text{ V}$$

La section convient car la chute de tension est compatible

$1,2 + 3 = 4,2 \%$ compatible avec la norme.

2.4 Choix des disjoncteurs D3, D013 (DT 13):

Le schéma simplifié de l'installation est représenté par la figure suivante.



2.4.1 Choisir le disjoncteur D3 alimentant le canalis n°3.

Le pouvoir de coupure doit être supérieur à I_{cc} au point A (on a négligé les impédances des jeux de barres et des disjoncteurs).

$I_b = 538,2A$ il faut donc prendre un calibre de 630 A

C630H avec pouvoir de coupure de 65 kA

4 pôles, 690 V

2.4.2 Choisir le disjoncteur D013.

I_{cc} au point A est égale à 37,6 kA.

La longueur du câble alimentant le canalis n°3 est de 70 m.

Ce qui nous donne I_{cc} au point B de 22 kA.

C161N avec un pouvoir de coupure de 25 kA

4 pôles

2.4.3 Vérifier la sélectivité entre les disjoncteurs DG01, D3, D013 (DT 15)

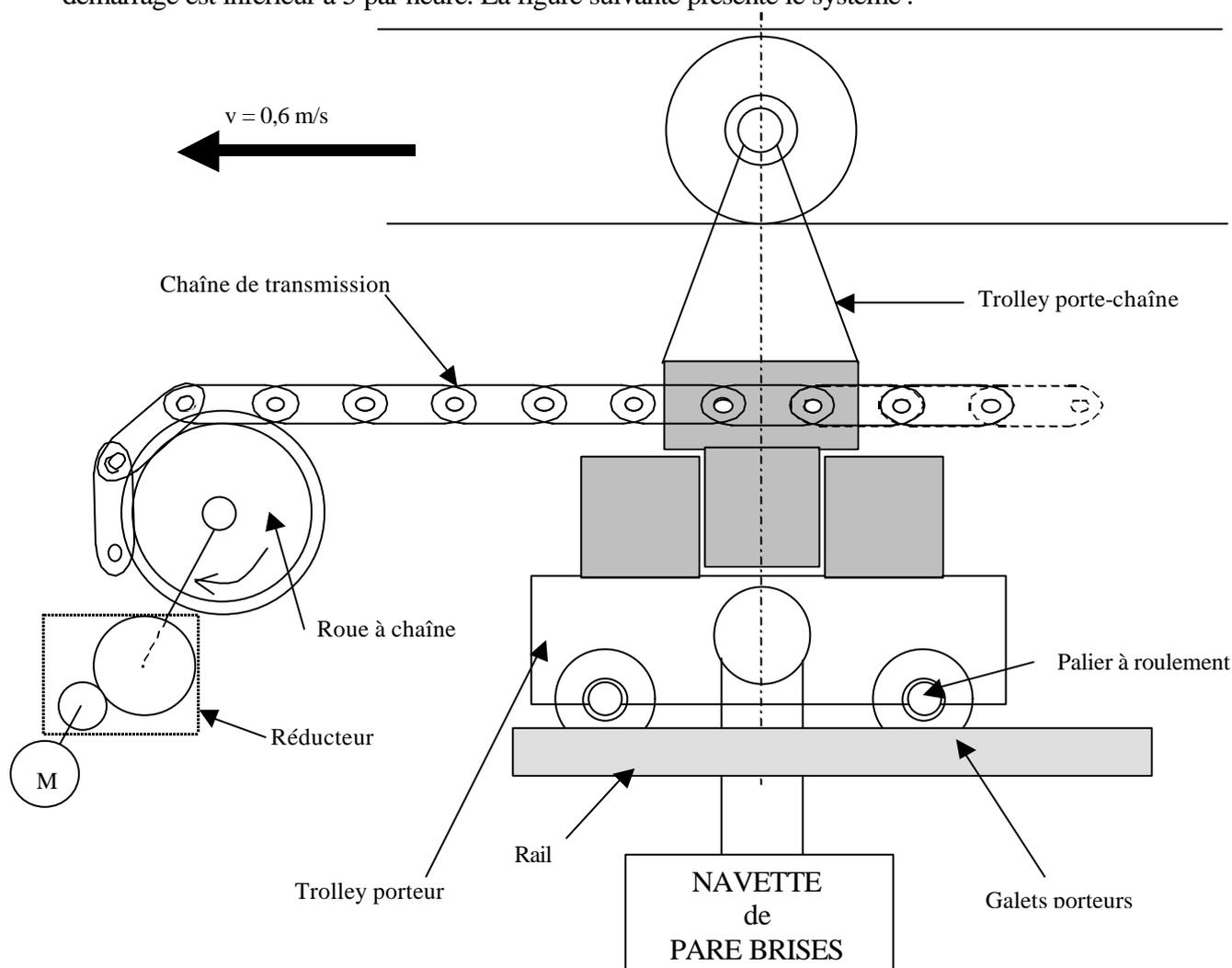
La sélectivité est Totale.

Partie 3 : CONVOYEUR DE L'ETUVE

A la suite d'un incident le moto-réducteur et le convertisseur de fréquence ont été détruit. N'ayant plus toutes les caractéristiques du moto-réducteur, on vous demande dans cette partie de le choisir et de remplacer le convertisseur de fréquence associé.

3.1 Choix du moto-réducteur :

Les pare brises sont transportés sur des navettes. Celles-ci sont entraînées par l'intermédiaire d'un convoyeur dont la motorisation est assurée par un moto-réducteur. Le nombre de démarrage est inférieur à 5 par heure. La figure suivante présente le système :



Caractéristiques principales de la chaîne cinématique du convoyeur :

Le poids du trolley porte-chaîne et de la chaîne ainsi que celui des galets sont négligés par rapport au poids de la navette chargée des pare brises. Le trolley porteur dispose de 4 galets porteurs. La charge est parfaitement répartie sur chacun des galets porteurs.

Les galets porteurs sont en matière synthétique. Les rails de guidage sont en acier (coefficient de roulement égale à 2mm). Les galets sont montés sur des paliers à roulement.

Diamètre des galets porteurs : 89 mm ; Diamètre des paliers à roulement : 30 mm, le coefficient de frottement est de 0,005

Masse de la navette : 80 Kg. Et masse maximale de la charge : 1 tonne

La chaîne de transmission a un rendement de 90 % et le réducteur a un rendement de 95 %.

La vitesse de la roue à chaîne est de 124 tr/min et la vitesse du moteur est d'environ 1400 tr/min.

La vitesse de déplacement de la charge est de 0,6 m/s (Grande Vitesse : GV)

La température ambiante est d'environ 30°C (moteur proche de l'étuve)

Dans ce problème, on calculera les forces de frottement et les forces de roulement appliqués sur le trolley porteur ainsi que la force nécessaire pour accélérer la charge afin d'estimer la puissance à installer au niveau du moteur et de choisir le moto-réducteur. L'accélération a est égale à $0,2 \text{ m/s}^2$ (contrôlé par un variateur de vitesse). On prendra $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

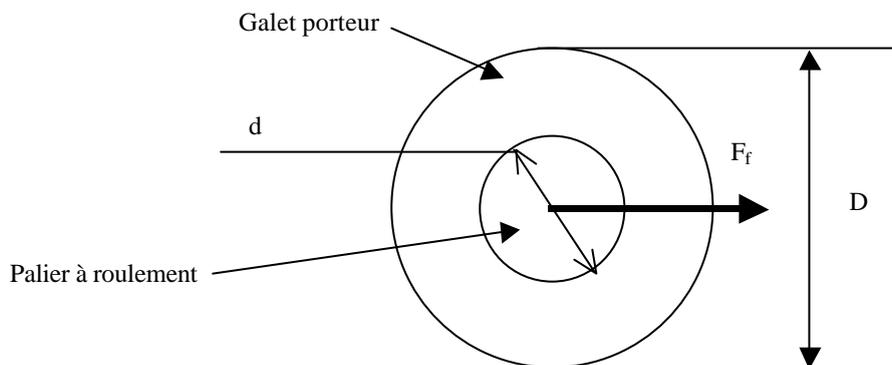
3.1.1 Les galets porteurs sont montés sur des paliers à roulements, ce qui provoque des frottements et donc une force qui va s'opposer au mouvement.

La société spécialisée dans les roulements vous donne la relation suivante :

$$\text{moment du couple exercé sur le roulement} = \mu_r \cdot P \cdot \frac{d}{2} ;$$

avec μ_r , le coefficient de frottement, P le poids sur un galet et d , le diamètre du palier à roulement.

Exprimer La Force F_f en N due aux frottements sur les 4 galets en remarquant que le couple exercé sur le roulement est le même que celui qui sera exercé sur le galet.



Le moment du couple exercé sur le galet est égale à $F_f \cdot D/2$. L'égalité des couples permet d'écrire

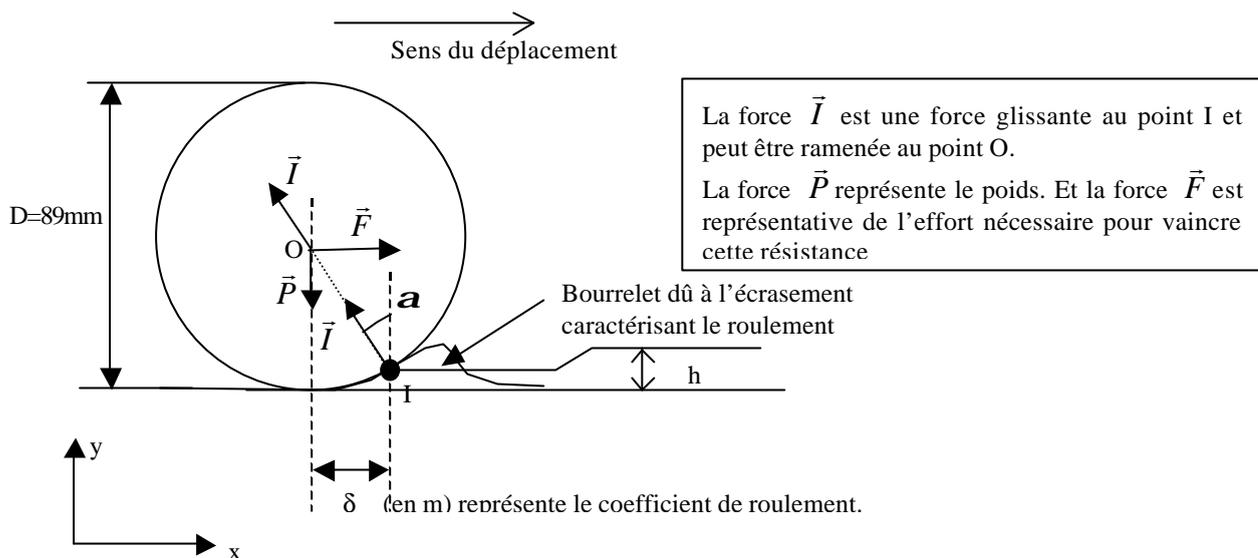
$$T = \mu_r \cdot P \cdot \frac{d}{2} = F_f \cdot D/2, \text{ et donc } F_f \text{ sur les 4 galets} = (\mu_r \cdot P_{\text{total}} \cdot d / D).$$

3.1.2 Faire l'application numérique.

$$\mu_r \text{ est égal à } 0,005, P_{\text{total}} = 9.81 \times 1080 = 10594,8 \text{ N}; D = 0.089 \text{ et } d = 0.03 \text{ donc } F_f = 17,85 \text{ N}$$

On définit la force au roulement, comme la force \vec{T} due au bourrelet créé par le poids supporté par le galet porteur. Cette force s'oppose au sens du déplacement de l'ensemble. Pour l'étude on considérera un seul galet qui supporte la masse totale de l'ensemble.

En isolant un galet porteur, on obtiendra :



3.1.3 D'après la définition du roulement, **calculer la valeur de la force \vec{F} correspondante.**
Pour cela :

- Déterminer l'expression de la tangente α en fonction de δ et de D sachant que $h \ll (D/2)$
- Faire le bilan des forces appliquées au point O (la somme des Forces extérieures appliquées au point O est égale à 0 à l'équilibre)
- Projetez ces forces sur l'axe $/x$ et sur l'axe $/y$ pour obtenir 2 équations
- De ces deux équations, déterminer une autre expression de l'angle α en fonction de F et P
- En déduire la force \vec{F} due au roulement en fonction de δ , m_{total} et D .

La somme des forces appliquées au point O est égale à 0. Donc $\vec{F} + \vec{P} + \vec{I} = \vec{0}$

$$\rightarrow/x \quad F = I \cdot \sin \alpha$$

$$\rightarrow/y \quad P = I \cdot \cos \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{F}{P} = \frac{d}{R} \quad \text{avec } R = D/2$$

on trouve :
$$F = \frac{2d m_{\text{total}} g}{D} \quad \text{AN : } F = 476,2 \text{ N}$$

3.1.4 Les frottements latéraux des paliers sur les côtés du rail, sont estimés à 0,2 % du poids total. **Calculer la force due à ces frottements latéraux F_l .**

$$F_l = 0,2 \cdot 1080 \cdot 9,81 / 100 = 21,2 \text{ N}$$

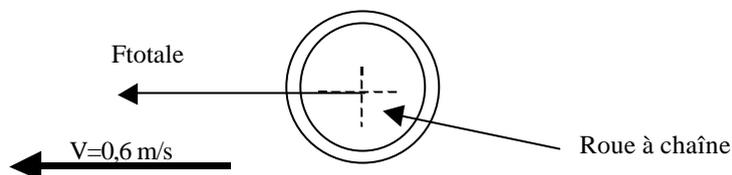
3.1.5 La force d'inertie à vaincre s'écrit $F_a = m_{\text{total}} \cdot a$ (a étant la valeur de l'accélération). **calculer la valeur de cette force.**

$$F_a = 1080 \cdot 0,2 = 216 \text{ N}$$

3.1.6 Calculer la force totale exercée sur la chaîne de traction.

$$F_{\text{totale}} = 476,2 + 21,2 + 17,85 + 216 = 731,25 \text{ N}$$

3.1.7 Cette force est appliquée sur la roue à chaîne. **Calculer alors la puissance utile du moteur nécessaire à l'entraînement de l'ensemble en tenant compte du rendement de la chaîne et du réducteur.**



$$P_u = F_{\text{totale}} \cdot v / (\eta_c \eta_r) = 731,25 \cdot 0,6 / (0,9 \times 0,95) = 513,16 \text{ W}$$

3.1.8 Calculer le moment du couple utile du moteur.

$$P = C \cdot \Omega \Rightarrow C = P / \Omega = 513,16 / (2\pi \cdot 1400 / 60) = 3,5 \text{ Nm}$$

3.1.9 Calculer le moment du couple au niveau de la roue à chaîne.

$$T_{rc} = \eta_r \cdot 3,5 \cdot (1400 / 124) = 37,56 \text{ Nm}$$

3.1.10 **Choisir le moto-réducteur dans le tableau de sélection DT16** (tout en vérifiant si le couple à fournir au niveau de la roue à chaîne est compatible).

La puissance est de 513,16 W
On choisira G1.2EDK80K4

42 Nm disponible > 37,56 Nm

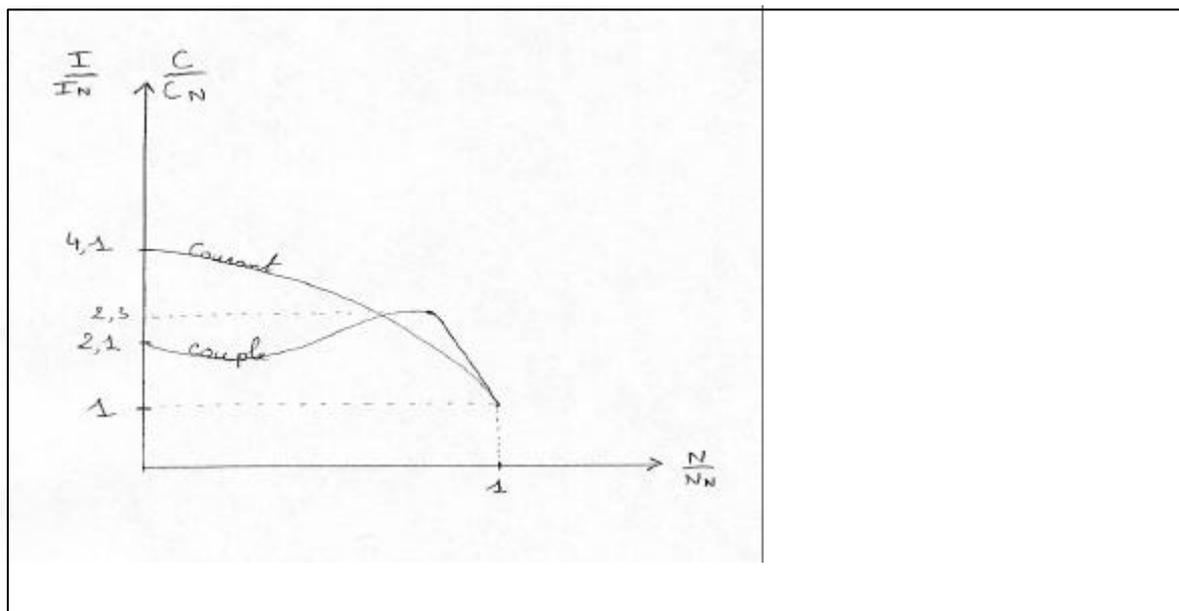
OK

3.1.11 Lors du démarrage, un couple d'entraînement double peut être transmis, à condition que le nombre de démarrages ne dépasse pas 5 par heure (donnée constructeur). **Pouvait-on négliger le couple dû à l'accélération. Justifier votre réponse.**

Si on enlève les 216 N pour l'accélération, on obtient un couple moteur sans tenir compte de l'accélération de 2,5 Nm. Le double correspond à 5 Nm encore supérieur à 3,5 Nm nécessaire lorsqu'on tient compte de l'accélération. On pouvait donc ne pas prendre en compte l'accélération, car dans notre cas le nombre de démarrage est inférieur à 5 (1 / heure) et donc on peut avoir le double du couple pendant le démarrage.

Pour la suite du problème, on choisira un moteur de 550 W.

3.1.1.2 Dessiner l'allure de la caractéristique I/I_N en fonction de N/N_n , en précisant les principales valeurs de I/I_n (DT 17). De même pour la caractéristique C/C_n en fonction de N/N_n .



3.2 Remplacement du convertisseur de fréquence :

Suite à un incident, il vous est demandé de remplacer par un modèle adapté le convertisseur de fréquence. A ce jour, le modèle de convertisseur de fréquence de la société Télémécanique installé n'est plus fabriqué. Il vous est demandé de choisir un modèle adapté pour ce remplacement.

Pour cela, il faudra tenir compte des recommandations suivantes :

- *les potentiomètres de réglages des 2 vitesses sont installés sur la face avant de l'ancien convertisseur et il ne sera plus possible de les utiliser.*
- *Le fabricant Schneider préconise le remplacement du convertisseur de fréquence par un modèle de la série ATV18.*
- *Le moto-réducteur a une puissance de 0,55 kW (dans la partie de ce problème)*

3.2.1 Déterminer les caractéristiques du nouveau convertisseur de fréquence :

- Référence :

ATV-18U18M2

D'après la représentation symbolique du schéma électrique ATV1 du cahier des charges:

3.2.2 - Indiquer le repère du composant qui assure la protection électrique du moteur du convoyeur :

F5

3.2.3 - Quelle est sa désignation ?

Relais thermique

3.2.4 - Quel est le rôle du contact repéré F5 branché sur la borne PL

Double sécurité électrique lors d'une surcharge

3.2.5 - Préciser le rôle des contacts repérés km9 et km10 :

Assurer l'inversion du sens de rotation

3.2.6 - Quelle est la désignation du composant repéré C1 ?

Interrupteur sectionneur disjoncteur magnétique rotatif

3.2.7 - En déduire son rôle

Assurer le sectionnement et la protection contre les courts circuits

3.3 Etablir les paramètres permettant de régler le nouveau convertisseur :

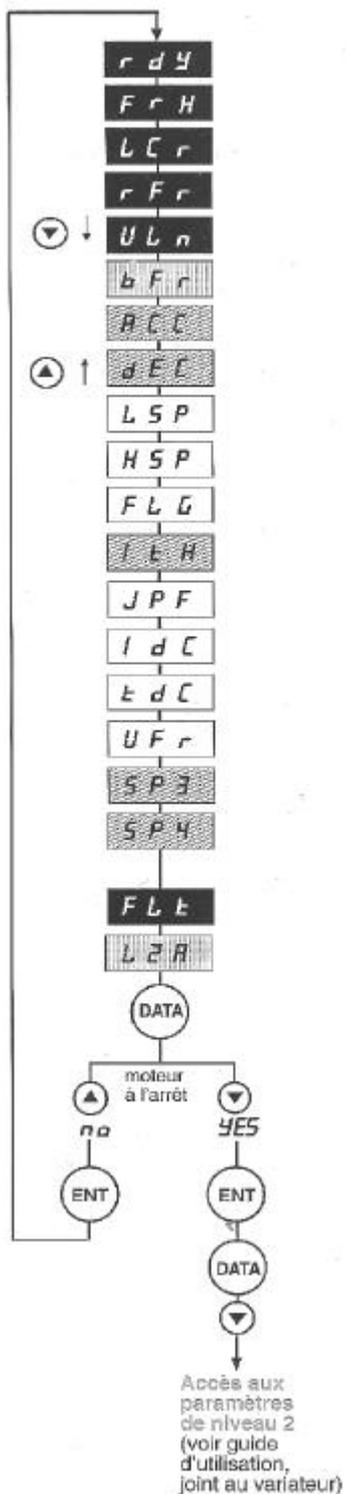
3.3.1- D'après les réglages de l'ancien convertisseur de fréquence indiqués dans le cahier des charges , déterminer les paramètres à configurer à l'aide du document DT 1 9.

BFr ACC dEC LSP HSP ItH SP3 SP4

3.3.2 - Indiquer la valeur des paramètres à régler

Liste des paramètres de niveau 1

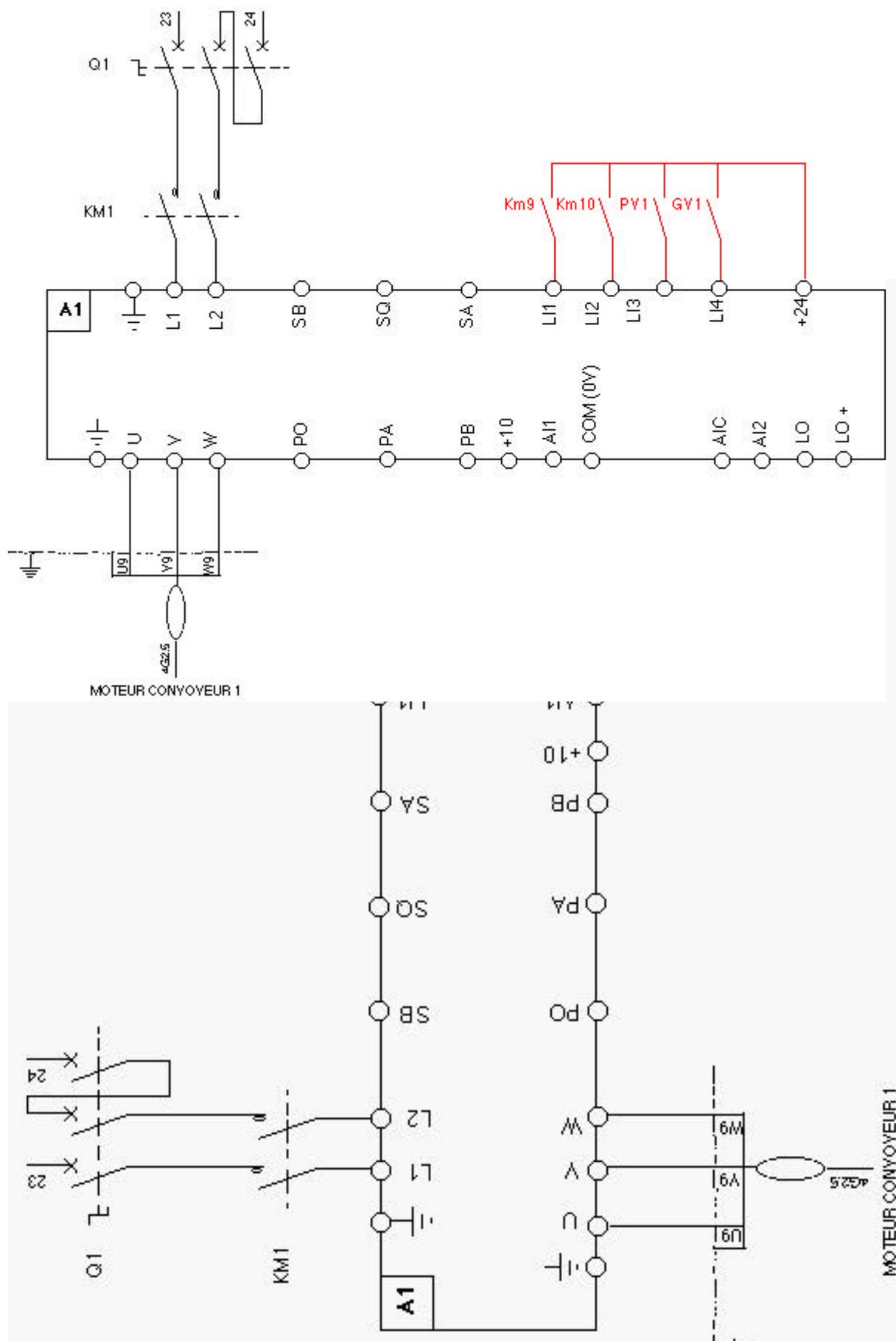
- affichage seulement
- réglable seulement à l'arrêt
- réglable en marche et à l'arrêt
- paramètres de réglage les plus fréquents



| | |
|-----|-------|
| 50 | 3 |
| 3 | 16,66 |
| 50 | |
| 2,8 | |
| | |
| | |
| 50 | 16,66 |
| | |

3.4 Modifier le schéma de commande et de puissance :

- Compléter le schéma du convertisseur en tenant compte de ses nouvelles caractéristiques



Partie 4 : Humidificateur de l'étuve

Le mécanisme d'accrochage du primaire sur le verre s'effectue en étuve humide.
Les conditions d'hydrolyse sont les suivantes :

- Température
- Humidité relative
- Durée de mise en étuve

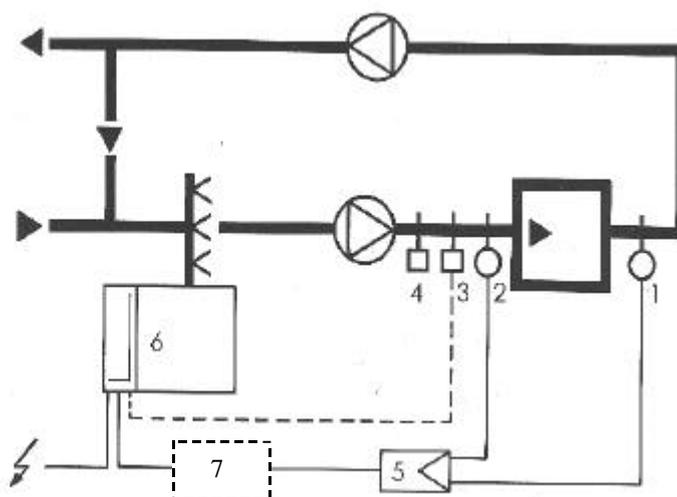
On vous demande de justifier et de vérifier les caractéristiques de l'humidificateur .

Principe de régulation d'humidité

Par le terme d'humidification de l'air, on entend communément l'apport artificiel d'eau (respectivement de vapeur d'eau dans l'air ambiant) . Les appareils d'humidification de l'air augmentent donc la teneur absolue en humidité de l'air .

La méthode d'humidification retenue est la méthode par évaporation . L'eau contenue dans un récipient est réchauffée et remise à l'air ambiant sous forme de vapeur d'eau . L'énergie requise pour l'évaporation est prise sur le réseau électrique et passe sous forme d'énergie calorifique dans le local .

- 1 Sonde d'humidité
- 2 Sonde d'humidité de limitation maximale
- 3 Hygromètre à maxima
- 4 Pressostat différentiel
- 5 I
- 6 Humidificateur d'air à vapeur DEVAPOR Mk3
- 7 Adaptateur Uniquement pour le traitement des signaux de régulation progressive avec le type H.



4.1 Etude de l'humidificateur

4.1.1 - Désigner le composant repéré 5 du schéma ci dessus :

Régulateur

4.1.2 - D'après les caractéristiques du cahier des charges et du document DT20, déterminer la référence de l'humidificateur installé

MK3 Type SL60-12

4.2 Décoder les schémas électriques de l'équipement

4.2.1 - D'après le document DT 20, préciser la nature du composant repéré K1.

Contacteur statique de type Thyristor permettant de moduler l'énergie .

A partir des schémas électriques fournis dans le cahier des charges

4.2.2 - Désigner le composant repéré T2 du schéma de distribution de l'ETUVE-HUMIDIFICATEUR.

Transformateur

4.2.3 - Pourquoi sa protection amont est de type aM

Il est nécessaire d'installer une protection pouvant supporter des pointes de courant . Le type de fusible (accompagnement moteur) est le mieux adapté .

4.2.4 - Désigner le composant repéré QF 25.

Sectionneur porte fusible bipolaire .

4.2.5 - Désigner le composant repéré Q5 du schéma de puissance de l'ETUVE-HUMIDIFICATEUR.

Disjoncteur magnéto-thermique tripolaire à réarmement

4.2.6 - Quel est son rôle ?

Assurer la protection contre les surcharges et les courts-circuits

4.2.7 - Que signifie I : 1,6-2,5A

Le courant thermique moyen est réglable de 1.6 à 2.5 ampères .

4.2.8 - Préciser le couplage du moteur M1 et des groupes de chauffages du schéma de puissance sachant que les résistances de chauffage supportent 380V.

M1

étoile

Groupes de chauffage

triangle

4.3 Compléter les schémas électriques de l'équipement

4.3.1 - Après avoir identifié les bornes de chaque constituant, indiquer sur le schéma de commande 1 (Etuve - Humidificateur) leur repère et en déduire les polarités du régulateur.

4.3.2 - Compléter le schéma de commande 2 (Etuve - Humidificateur) voir DT 20 à DT 23

- Raccorder le relais à étages au régulateur de température
- Raccorder la sonde d'hydrométrie au régulateur associé
- Indiquer les repères des bornes correspondants.

ETUYE-HUMIDIFICATEUR
Schéma de commande 2

