

SESSION DE 2008

CAPLP

CONCOURS INTERNE

Section : **GENIE ELECTRIQUE**

Option : **ELECTROTECHNIQUE**

**ETUDE D'UN SYSTEME TECHNIQUE ET/OU D'UN PROCESSUS
TECHNIQUE ET/OU D'UN EQUIPEMENT**

Durée : 6 heures – Coefficient : 1

Aucun document autorisé.

Calculatrice autorisée (conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999).

DOSSIER CORRIGE

Partie A : distribution haute tension

En vue de travaux de modification d'une partie de l'installation de distribution HT/BT, on vous demande de vérifier certaines caractéristiques de cette installation.

AA – Etude du poste de livraison et du poste de transformation principal.

AA1 – Définir les différents domaines de tensions alternatives utilisées dans l'installation (hors parties commandes) et préciser les limites définies par la norme NFC 18-510 :

Tensions	Domaines	Limites
20 kV	HTA	$1000 < U \leq 50 \text{ kV}$
400 V	BT	$50 < U \leq 500 \text{ V}$

AA2 – Indiquer le type d'alimentation du poste de livraison et citer deux autres types d'alimentation HT :

Le poste de livraison est alimenté en boucle d'artère.

Autres type d'alimentation HT : simple dérivation, double dérivation.

AA3 – Indiquer les conditions de couplage des deux transformateurs TR1 et TR2 en parallèle :

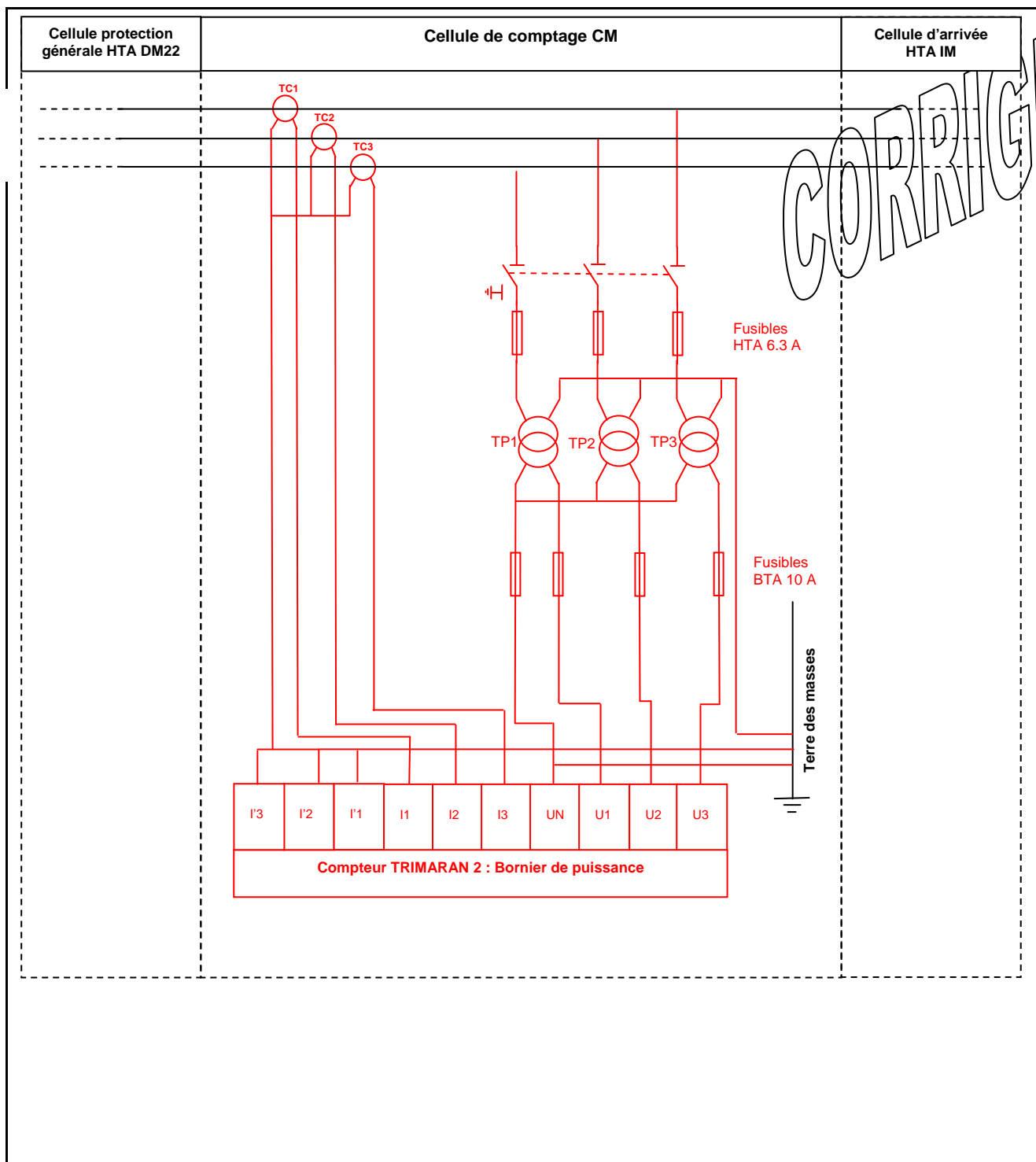
- Alimentation par le même réseau.
- Même rapport de transformation.
- Appartenir au même groupe de couplage.
- Rapport de puissance au plus égal à 2.
- Tension secondaire très peu différente selon la charge (0.4% maxi).
- Tension de court circuit très peu différente $\pm 10\%$.

AA4 – Indiquer le type de comptage d'énergie mis en place (HT ou BT). Ce type de comptage est-il le plus approprié sachant que le site possède une seule raison sociale.

Comptage HT car quatre transfos, il faudrait donc quatre compteurs en BT. De plus, les trois transfos ont une puissance supérieure à 1250 kVA, ce qui ne permet pas un comptage BT.

AA5 - Compléter le schéma de raccordement du bornier de puissance du compteur TRIMARAN 2. La cellule comptage de type TM de la série SM6 Merlin Gérin est équipée entre autre de trois transformateurs de courant et de trois transformateurs de potentiel phase/masse 20 kV/100 V. Les

transformateurs de potentiel sont protégés par fusibles HTA 6,3 A et fusibles BTA 10 A, ils sont dotés de pôles de sectionnement au primaire.



AA6 – Indiquer les pouvoirs de coupure minimaux nécessaires aux niveaux des disjoncteurs DGBT1 et DGBT2 et des disjoncteurs de départ en aval du jeu de barres :

Pdc DGBT1 et DGBT2 : 38 kA.

Pdc disjoncteurs de départs : 75 kA.

AB – Etude du poste de transformation HTA/BTA « Usine CANTAL »

AB1 - Indiquer le type d'alimentation HT du poste :

Le poste Cantal est alimenté en simple dérivation.

AB2 – Etude du transformateur TR4 en charge :

a – Déterminer le rapport de transformation à vide par colonne :

Equation pour une colonne : $V_{20} = m \cdot U_1$ avec $V_{20} = U_{20} / \sqrt{3}$

$$m = U_{20} / U_1 \cdot \sqrt{3} = 410 / 20000 \cdot \sqrt{3} = 0.01183$$

b – Déterminer le courant nominal secondaire sachant que $U_{2n} = 400$ V :

$$I_{2n} = S / U_{2n} \cdot \sqrt{3} = 1000000 / 400 \cdot \sqrt{3} = 1443 \text{ A}$$

c – Déterminer la chute de tension dans les enroulements secondaires et en déduire la tension secondaire correspondant au fonctionnement à 80 % de l'intensité nominale, on considérera que le $\cos \varphi_2$ sera constant et égal à 0,93 :

$$\text{Pertes charges} = 3 \cdot R_s \cdot I_{2cc}^2$$

$$R_s = (\text{Pertes charges}) / 3 \cdot I_{2cc}^2 = 13000 / 3 \cdot 1443^2 = 0,00208 \, \Omega \quad \text{avec } I_{2cc} = I_{2n}$$

$$U_{1cc} = 6\% \text{ de } U_{1n} = 1200 \text{ V.}$$

$$Z_s = m \cdot U_{1cc} / I_{2cc} = 0,01183 \cdot 1200 / 1443 = 0,009837 \, \Omega$$

$$\text{Ou } Z_s = (U_{2n}^2 / S_n) \cdot (U_{cc}\% / 100)$$

$$L_s \omega = X_s = \sqrt{(Z_s^2 - R_s^2)} = 0,009614 \, \Omega$$

$$I_{2c} = 80\% \text{ de } I_{2n} = 1154 \text{ A}$$

$$\Delta U_2 = R_s \cdot I_{2c} \cdot \cos \varphi_2 + L_s \omega \cdot I_{2c} \cdot \sin \varphi_2 = 2,232 + 4,0778 = 6,309 \text{ V.}$$

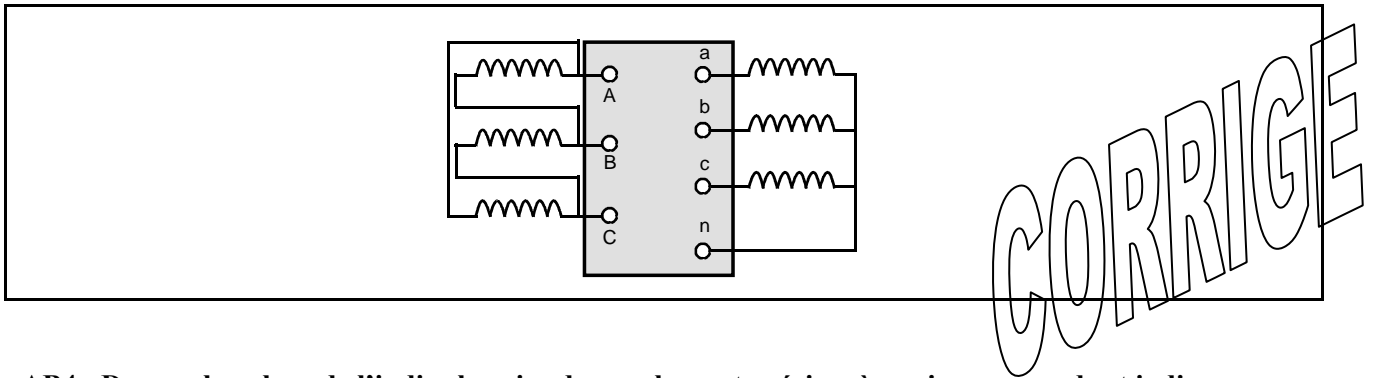
$$U_{2c} = U_{20} - \Delta U_2 = 403,69 \text{ V}$$

d - Déterminer le rendement du transformateur pour un fonctionnement à 80 % de l'intensité nominale et pour $\cos \varphi_2 = 0,93$:

$$\eta = P_{2c} / (P_{2c} + \text{Pertes à vide} + \text{Pertes à 80\% de charge}) \quad \text{avec } P_{2c} = U_{2c} \cdot I_{2c} \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi_2$$

$$\eta = P_{2c} / (P_{2c} + \text{Pertes à vide} + 3R_s I_{2c}^2) = 750407 / (750407 + 1470 + 8309) = 0,9871 \text{ soit } 98,71 \, \%.$$

AB3 – Réaliser un schéma permettant de faire apparaître la plaque à bornes du transformateur ainsi que le couplage des enroulements et le repère des bornes :



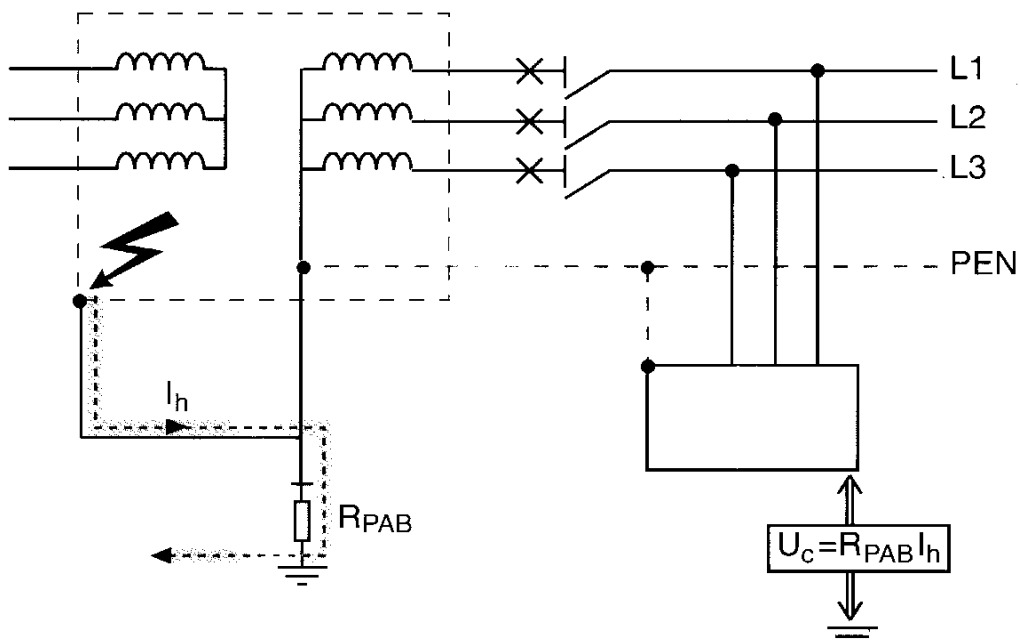
AB4 - Donner la valeur de l'indice horaire de couplage, et préciser à quoi correspond cet indice :

Indice horaire : 11.

Correspond à un déphasage de 330° entre les tensions primaires et secondaires.

AB5 – Réaliser le schéma des liaisons à la terre du poste de transformation sachant que celui-ci est de type TNR :

Toutes les prises de terre, du poste (R_p), du neutre (R_b) de la partie BT et des masses d'utilisation (R_a) sont reliées (interconnectées), la résistance équivalente ou commune est R_{PAB} .



AB6 – Indiquer la valeur de la tension pouvant apparaître aux bornes des récepteurs situés en aval du poste dans le cas où un défaut d'isolement franc se produirait entre le côté HT et la masse du transformateur, sachant que le réseau est aérien et que la prise de terre du poste vaut $3\ \Omega$. Conclure sur les éventuelles anomalies susceptibles d'apparaître dans l'installation BT.

En cas de défaut, il y a élévation du potentiel du point neutre BT par rapport à la terre à une valeur $R_{PAB} \times I_h$.

L'ensemble du réseau BT, y compris le PE est porté au potentiel $U_o + R_{PAB} \times I_h = 230 + 3 \times 300 = 1130 \text{ V}$ par rapport à la terre (U_o tension simple BT).

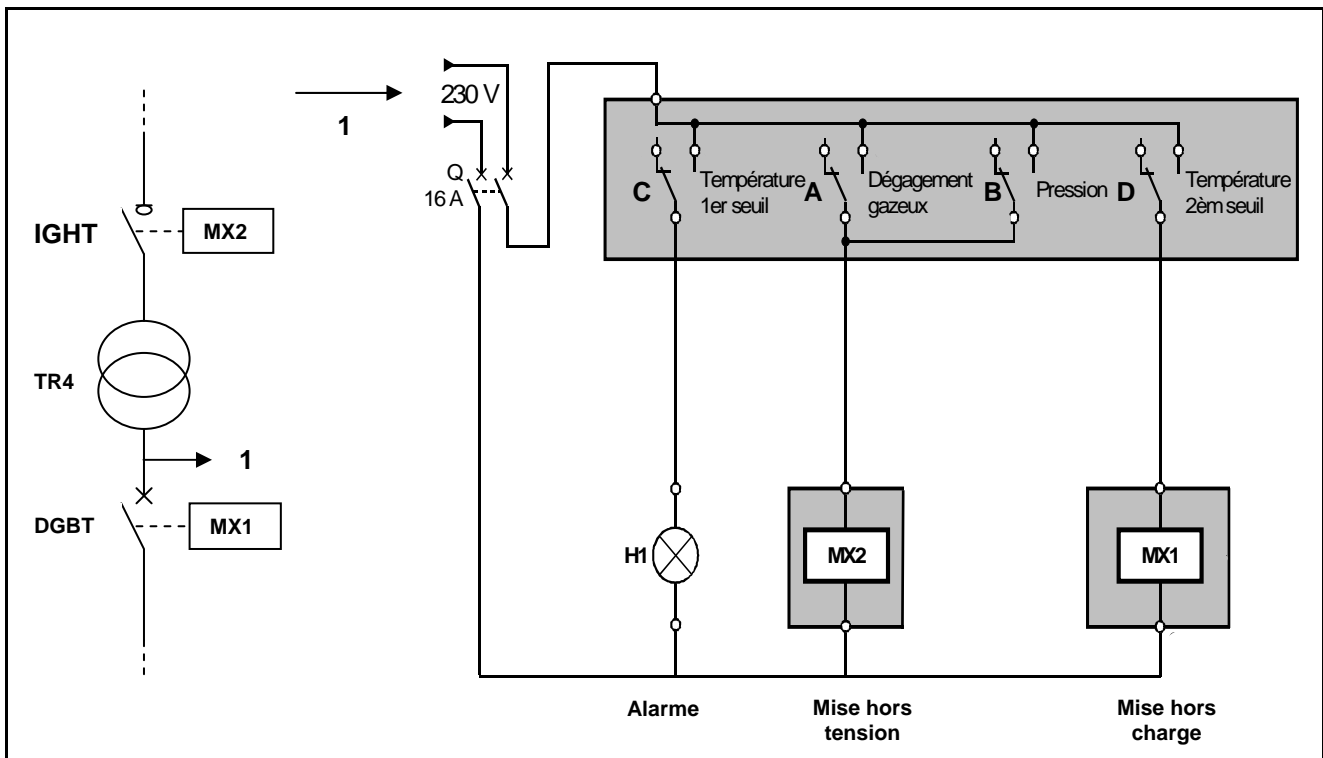
Les masses d'utilisation BT, du fait de l'interconnexion des prises ou de l'existence d'une prise de terre commune, sont portées au potentiel $U_o + R_{PAB} \times I_h$ par rapport à la terre. Si par ailleurs d'autres masses demeurent au potentiel de la terre profonde, il y a risque, pour les personnes, de contacts indirects dangereux entre ces masses ; la tension de contact est $U_c = R_{PAB} \times I_h = 900 \text{ V}$.

Il y a risque de claquage pour les équipements sensibles, principalement électroniques qui ont une tenue d'isolement faible.

Tension d'essais sous, 50 Hz et pendant 1 mn, à laquelle sont soumis les matériels industriels : $2U + 1000 \text{ V}$.

AB7– Le transformateur TR4 est équipé d'un DGPT, le rapport annuel de l'organisme vérificateur fait apparaître le commentaire suivant : *reprendre le câblage du relais de protection DGPT du transformateur TR4 (les 4 contacts sont en parallèle et agissent sur les bobines MX du DGBTA et de l'inter HTA), l'alimentation du circuit « Protection DGPT transfo TR4 » doit être connectée en amont du DGBT et non en aval.*

On vous demande de réaliser le schéma du circuit « Protection DGPT transfo TR4 » en faisant apparaître les quatre contacts du DGPT avec leurs repères, les bobines permettant la mise hors charge et hors tension du transformateur, une protection par disjoncteur bipolaire 16 A pour ce circuit « Protection DGPT transfo TR4 » et le point de connexion par rapport au transformateur. L'alarme sera visualisée par un voyant.



AB8 – On désire réaliser des travaux de modification sur la gaine BT reliant le transformateur TR4 à son TGBT car celle-ci est soumise à un problème d'échauffement. Pour ceci une mise hors tension du transformateur est préférable, elle sera réalisée lors d'une période favorable pour la production. Le

TGBT et le poste de transformation Cantal sont disposés dans un même local réservé aux électriciens à l'intérieur duquel on trouvera un voisinage BT mais pas de voisinage BT. Prévoir les opérations afin de réaliser le travail en toute sécurité et indiquer les titres d'habilitation minimaux nécessaires à chaque opération :

Lieux d'interventions	Opérations réalisées	Habilitations minimales nécessaires
Usine Cantal	Stopper les différents process et équipements concernés par l'intervention selon une procédure d'arrêt normal, informer les personnels concernés par la coupure	Aucune
Poste transfo Cantal -TGBT	Couper les départs divisionnaires BT et consigner au niveau du DGBT.	BC
Poste transfo Cantal	Consignation du poste Cantal au niveau de l'IGHT (mise à la terre aval).	HC
Poste transfo Cantal	Effectuer les travaux sur la gaine défectueuse.	B1
Poste transfo Cantal	Déconsigner le poste Cantal (alimentation HT).	HC
Poste livraison Cantal - TGBT	Déconsigner la partie BT (fermeture du DGBT). Mettre sous tension les départs divisionnaires (informer les personnels concernés par la remise sous tension auparavant).	BC
Usine Cantal	Remettre les différents process et équipements en production.	Aucune

Partie B : distribution basse tension usine Cantal

B1 – On vous demande de vérifier le dimensionnement de la ligne d'alimentation de l'écrémeuse Cantal cru (depuis JB1), en faisant apparaître les valeurs des divers coefficients ainsi que les calculs et explications nécessaires.

a- Déterminer le calibre du déclencheur D2 :

D'après le tableau page K37 ou par le calcul on obtient $I = 85 \text{ A}$, on aura donc un déclencheur 100 A.

b- Vérifier le dimensionnement du câble C2 :

Lettre de sélection E,

$K1 = 1$

$K2 = 0,82$

$K3 = 1$

Donc $K = 0.82$ (page K38) et $I'_z = I/K = 100/0,82 = 122 \text{ A}$.

D'après le tableau page K39 on vérifie que pour un câble de 25 mm^2 on a un I'_z de 127 A, donc supérieur. La section est pour l'instant correcte.

c- Déterminer la chute de tension à l'extrémité du câble C2 sachant que la chute de tension en amont de C2 est de 4,5 % ; cette valeur est-elle conforme à la norme ?

$S = 25 \text{ mm}^2$, $I = 100 \text{ A}$, $L = 45 \text{ m}$,

$\Delta U = 3,3 \%$ pour 100 m soit $1,45 \%$ pour 45 m ; $1,45 \% + 4,5 \% = 6 \% < 8 \%$ toléré pour usage force motrice alimenté par son propre poste HTA/BTA (tableau page K44).

d – Vérifier le pouvoir de coupure du disjoncteur D2 sachant que la réactance du câble C2 est de $4,05 \text{ m}\Omega$:

Réseau amont	$R1 = 0,035 \text{ m}\Omega$	$X1 = 0,351 \text{ m}\Omega$
Transformateur	$R2 = 2,18 \text{ m}\Omega$	$X2 = 9,84 \text{ m}\Omega$
Liaison transformateur - DGBT	$R3 = 0$ car $S > 240^2$	$X3 = 0,75 \text{ m}\Omega$
Liaison C1	$R4 = 3,47 \text{ m}\Omega$	$X4 = 12,15 \text{ m}\Omega$
Liaison C2	$R5 = 33,318 \text{ m}\Omega$	$X5 = 0,09L = 4,05 \text{ m}\Omega$
Total	$R_t = 39,003 \text{ m}\Omega$	$X_t = 27,141 \text{ m}\Omega$

Avec : $S_{KQ} = 500000 \text{ kVA}$; $S = 1000 \text{ kVA}$; $m=c=1,05$; $U_n=400 \text{ V}$; $U=410 \text{ V}$; $U_{cc}= 6 \%$; $W_c=13000 \text{ W}$.
Méthode des impédances (page K48).

$$I_{cc2 \text{ maxi}} = m \cdot c \cdot U_n / (\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{t2}^2 + X_{t2}^2)}) = 10,7 \text{ kA}$$

$$(R_{t2} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 5,685 \text{ m}\Omega)$$

$$(X_{t2} = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 23,091 \text{ m}\Omega)$$

Pour info question B21-a : $I_{cc1 \text{ maxi}} = m \cdot c \cdot U_n / (\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{t1}^2 + X_{t1}^2)}) = 22,8 \text{ kA}$
($R_{t1} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 2,215 \text{ m}\Omega$)
($X_{t1} = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 10,941 \text{ m}\Omega$)

D2 à un pouvoir de coupure de 25 kA, il est donc suffisant car $>$ à I_{cc2} .

e - On vous demande de vérifier que la protection des personnes est assurée lors d'un défaut d'isolement franc dans l'écrémeuse Cantal cru :

e1 - Indiquer la tension et le courant de défaut susceptibles d'apparaître. On considérera pour simplifier les calculs, que $Z_{ph} = Z_{pen}$.

$I_d = 0,8 U_o / (Z_{ph} + Z_{pen}) = 1936 \text{ A}$ (0,8 pour 20 % de U_o la tension simple)

Avec $Z_{ph} = Z_t = \sqrt{(R_t^2 + X_t^2)} = 47.51 \text{ m}\Omega$

$U_d = I_d \cdot Z_t = 1936 \cdot 0,04751 \Omega = 92 \text{ V} \rightarrow \text{Danger.}$

Ou bien en considérant que $Z_{ph} = Z_{pen}$ alors $U_d = 0,8 \cdot U_o / 2 = 92 \text{ V} \rightarrow \text{Danger.}$

e2 - Vérifier que le temps de déclenchement de D2 sera inférieur au temps maximum de coupure défini dans la norme NFC 15-100.

D'après l'extrait de la norme NFC 15-100 le dispositif de protection doit fonctionner en moins de 0,4 s.

Le temps de déclenchement du disjoncteur D2 est $<$ à 20 ms pour un courant de défaut de 1936 A, la protection des personnes est donc bien assurée.

Déclencheur TM100D; $I_n = 100 \text{ A}$; $I_r = 0,9 \cdot I_n = 90 \text{ A}$; $I/I_r = 21,5$; $I_m = 800 \text{ A}$ (K329).

Possibilité aussi de calculer $L_{\text{max}} = 0,8 \cdot U_o \cdot S_{ph} / \rho (1 + m) I_m$ avec $m = S_{ph} / S_{pen}$

f - Indiquer la section du conducteur de neutre à partir de laquelle le schéma TNC est réalisable pour des conducteurs en cuivre et en aluminium et indiquer pourquoi.

TNC réalisable à partir de 10mm² cuivre ou 16 mm² alu car pour des sections plus faibles on considère que les conducteurs sont mécaniquement trop fragiles et donc susceptibles d'être rompus. Le risque serait alors que les masses des récepteurs soient portées au potentiel de la tension simple sitôt qu'un appareil monophasé serait connecté.

B2 – Dans le cadre d’une politique d’amélioration de l’outil de production il a été demandé à l’équipe technique du site d’effectuer une étude visant à définir les matériels ou systèmes à installer afin d’atteindre les objectifs suivants :

Objectifs	Moyens à mettre en place
<p>Objectif 1 : Améliorer la disponibilité de la distribution électrique en mettant en place des systèmes destinés à « surveiller » à distance l’alimentation électrique des process stratégiques pour l’entreprise.</p>	<p>Appareillages de distribution communicants + supervision</p>
<p>Objectif 2 : Eliminer les surconsommations d’énergie réactive coûteuses. Déterminer l’incidence d’éventuelles perturbations sur l’installation ou sur les équipements.</p>	<p>Système de compensation d’énergie réactive Vérifications liées à l’influence des perturbations harmoniques</p>
<p>Objectif 3 : Disposer d’un bilan énergétique afin de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fournir des données fiables et des diagnostics énergétiques précis pour les décisions d’investissement. - Connaître la part de l’énergie dans le prix de revient d’un produit, répartir les dépenses par centre de coût ou par type de fabrication. - Etablir un meilleur compromis fourniture/consommation. - Réduire la consommation en énergies afin d’améliorer la compétitivité de l’entreprise. - Evaluer la qualité de l’énergie électrique <p>Disposer d’un état des consommations énergétiques en temps réel afin d’anticiper les dérives et les consommations au prix fort.</p>	<p>Système de supervision et de gestion de l’énergie</p>

B21 – **Objectif 1 :** Appareillages de distribution communicants et supervision :

la démarche consiste à équiper les départs stratégiques alimentant les principaux process de fabrication de l’usine (production de froid, pasteurisation, pâtes moles, Emmental et Cantal) d’appareils de commande et de protection communicants. Ces appareils devront permettre une surveillance à distance depuis un poste de supervision implanté dans les locaux des services techniques. La surveillance consistera à disposer en temps réel des données et des possibilités d’actions suivantes :

- identification de l’appareil,
- signalisation d’états,
- paramétrage des protections et des alarmes,
- mesures de courants, de tensions, de puissances, de fréquences,
- indicateurs de qualité de l’énergie : fondamentaux, harmoniques,
- lecture des défauts : type de défaut et courant coupé,
- captures d’ondes sur défaut ou programmées,
- historiques des déclenchements et des alarmes,
- indicateurs de maintenance.

Pour des raisons de temps l’étude détaillée sera limitée à la modernisation de la partie Cantal et va consister lors d’une première phase à remplacer le DGBT, D1 et I1 par des appareils communicants permettant d’offrir les fonctionnalités énoncées ci-dessus.

Le choix portera sur du matériel Merlin Gérin.

Paramétrage des protections et des alarmes	Oui		
Mesures de courants	Oui	Oui	
Mesures de tensions, de puissances, de fréquences	Oui		
Indicateurs de qualité de l'énergie : fondamentaux, harmoniques	Oui		
Lecture des défauts : type de défaut	Oui	Oui	
Captures d'ondes sur défaut ou programmées	Oui		
Historique des déclenchements et des alarmes	Oui		
Indicateurs de maintenance (compteur de manœuvres, usure des contacts, registre)	Oui	Compteur de manœuvres uniquement	

e - Donner une proposition de réglages pour les disjoncteurs (DGBT, D1, D2) choisis, indiquer le type de sélectivité obtenue et justifier les réglages :
(K64-65-66-67-150-151-168-169)

Disjoncteurs	Réglages	Sélectivité obtenue	Justification des réglages choisis
DGBT	Ir : 960 A (x0.6) Isd : 4800 A (x5) Ii : OFF	DGBT – D2 Totale	Les réglages proposés sur l'installation existante doivent être repris, Ii du DGBT doit être positionné sur OFF pour obtenir une sélectivité totale avec D1
D1	Ir : 700 A (x0.7) Isd : 2800 A (x4)		
D2	Ir : 100 A (x1) Im : 800 A (non réglable)	D1 – D2 Totale	

B22 – Objectif 2 : Système de compensation d'énergie réactive :
l'analyse des consommations de l'année 2005 fait apparaître une surconsommation d'énergie réactive facturée 6603€ HT. Une étude montre que cette surconsommation est due aux récepteurs situés en aval des transformateurs TR1 et TR2.

a - On demande de réaliser une étude permettant de déterminer la référence du système de compensation à installer et de définir les intérêts d'une compensation. On choisira une compensation globale (connectée sur le jeu de barres immédiatement en aval de TR1 et TR2). Le rapport G_h/S_n est estimé à 22 % dans la partie d'installation concernée. Vous prendrez soin de faire apparaître tous les éléments et calculs intermédiaires importants de l'étude.

Calculer la puissance de compensation nécessaire ;
donner la référence de la batterie choisie ;
indiquer le couplage le plus économique pour raccorder cette batterie de condensateur ;
justifier votre réponse.

$Q_c = 2607 (0.525 - 0.4) = 325,8 \text{ kVAR}$ Pour le mois où la consommation d'énergie réactive est la plus élevée.

$Q_c / S_n = 325.8 / 3200 = 10.1 \%$ on optera donc pour une compensation fixe.

Le rapport G_h / S_n est estimé à 22 % on choisira donc un équipement de compensation de type H (C75).

Référence de l'équipement de compensation : trois équipements de type VARPLUS forte puissance type H

120 kVAR – 400 V – Réf : **52479** (C80).

Intérêt du système :

- supprime les facturations complémentaires pour consommation excessive d'énergie réactive,
- diminue la puissance apparente et soulage le poste de transformation.

Inconvénient d'une compensation globale :

- le courant réactif est présent dans l'installation les pertes par effet joule dans les câbles ne sont pas diminuées.

Le couplage triangle est plus économique car la puissance réactive fournie par les condensateurs est proportionnelle au carré de la tension ($Q=C \omega U^2$). L'inconvénient est la naissance de courants homopolaires dans le réseau qui sont en fait compensés par les selfs de la batterie de condensateurs.

b- Vérifier s'il y a risque de résonance du système de compensation installé aux fréquences harmoniques correspondant aux rangs harmoniques 3 à 25. Conclure sur la suite à donner et proposer si besoins des solutions.

La résonance peut se produire avec les éléments en parallèle avec les condensateurs (pollution venant de l'installation), mais aussi dans le cas d'un schéma série (pollution provenant du réseau ou bien du à la propagation des harmoniques venant de l'installation) entre le condensateur C et l'inductance L (ligne + transfo).

Fréquence de résonance d'une batterie de condensateurs : $f_r = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$ ($L.C. \omega^2 = 1$ avec $\omega = 2\pi f$)

Le choix de C doit être fait de manière à éviter que la fréquence de résonance f_r soit proche d'une fréquence correspondant aux rangs d'harmoniques impairs générés par les principaux pollueurs présents (convertisseur à diode et thyristors, éclairages fluos, ...). Signal symétrique par rapport à t, les rangs impairs disparaissent dans la décomposition de Fourier.

Calculs :

$S_{cc} = V^2 / L\omega$ donc $L = V^2 / S_{cc} \cdot \omega$ et $Q_c = V^2 \cdot C \cdot \omega$ donc $C = Q_c / V^2 \cdot \omega$ (avec ω la pulsation du fondamental)

Au point d'installation des condensateurs : $S_{cc} = U_n \cdot I_{cc} \cdot \sqrt{3} = 400 \cdot 53000 \cdot \sqrt{3} = 36,7$ MVA.

En remplaçant C et L par leur expression en fonction de la puissance, l'expression de la fréquence de résonance peut aussi s'écrire : $f_r = (1 / 2\pi) \cdot 1 / \sqrt{(V^2 / S_{cc} \cdot \omega) \cdot (Q_c / V^2 \cdot \omega)} = \omega / 2\pi \cdot \sqrt{(S_{cc} / Q_c)}$

Eléments de réponses attendues :

Or sachant que $\omega / 2\pi = f$ (la fréquence du fondamental), la fréquence de résonance par rapport à celle du fondamental peut s'écrire : $f_r / f = \sqrt{(S_{cc} / Q_c)}$. Cette expression facilite les applications numériques, soit dans notre cas :

- $f_r / f = \sqrt{(36700 / 360)} = 10.09$ soit une valeur relativement éloignée des harmoniques de rang 9 et 11 (tout le système de compensation en fonctionnement normal).
- $f_r / f = \sqrt{(36700 / 240)} = 12.36$ soit une valeur relativement éloignée des harmoniques de rang 11 et 13 (une batterie défectueuse).
- $f_r / f = \sqrt{(36700 / 120)} = 17.48$ soit une valeur relativement éloignée des harmoniques de rang 17 et 19 (deux batteries défectueuses).

Conclusion : pas de danger.

Pour info : dans le cas où une fréquence de résonance serait très proche d'une fréquence harmonique, une évaluation plus précise du danger doit être réalisée. Elle consiste ensuite à examiner l'amplitude des courants associés. En multipliant cette amplitude par le facteur d'amplification $F = R\sqrt{(C/L)} = \sqrt{(Q_c.S_{cc})/P}$ (avec $Q_c = U^2.C \cdot \omega$ et P puissance active absorbée par l'installation) on peut alors décider si l'amplitude obtenue est acceptable ou non.

S'il y a danger pour les condensateurs, la solution la plus courante consiste à placer une inductance en série, on pourrait aussi modifier l'emplacement des condensateurs par rapport aux charges non linéaires.

c - Indiquer les perturbations susceptibles d'apparaître dans les installations possédant un taux de distorsion harmonique élevé :

- Dysfonctionnements (mesures faussées, fonctionnement défectueux des dispositifs de protection, de commande ou de comptage).
- Claquages diélectriques (dus aux phénomènes de résonance).
- Bruits, vibrations et vieillissement des moteurs.
- Perturbations dans les liaisons courant faible.
- Echauffement et pertes supplémentaires, nécessité de surdimensionnement, en particulier des câbles.

CORRIGE

B23 – Objectif 3 : Système de supervision et de gestion de l'énergie (Système WhinThor – Enerdis).

Les objectifs de ce système ayant été décrits précédemment, la configuration de l'installation, dans un premier temps, sera la suivante :

- Une centrale de mesures type POWER M implantée dans le TGBT Cantal (Consommation atelier Cantal).
- Deux centrales de mesures type POWER M implantées dans le TGBT TR1+TR2 (prises de mesures immédiatement après les disjoncteurs BT affectés aux transformateurs TR1 et TR2).
- Deux compteurs électroniques, télé-relevables, positionnés sur les départs Process Emmental et Process Pâtes Moles dans le TGBT TR1+TR2.
- Les compteurs d'eau (général, atelier Cantal, atelier Emmental, atelier Pâtes Moles) et le compteur électrique général MT (TRIMARAN 2) seront rendus communicants au moyen d'un concentrateur d'impulsion type CCT et relevables depuis la supervision.

La consommation électrique liée aux autres départs (froid, station d'épuration, ...), communs à tous les Process, situés dans le TGBT TR1+TR2 sera dans un premier temps déduite par calcul (Consommation sortie TR1+TR2 – Consommation Emmental – Consommation Pâtes Moles) et répartie au prorata du nombre de litres de lait traité ou d'eau utilisée, par les services comptables. Ces départs pourront éventuellement par la suite être équipés de compteurs particuliers.

- a - Le réseau utilisé entre les différents appareils du système WhinThor est le même que celui utilisé précédemment pour la communication entre les différents appareils de distribution. Compléter le tableau en donnant les caractéristiques :

Protocole	Modbus/JBUS
Type de médium	Câble Paires torsadées
Type de liaison	RS 485
Nombre d'abonnés maximum	32
Longueur de bus maximum	1200m

Vitesse de transmission	19200 Bauds MAX
Typologie	BUS
Procédure d'échange	Maître esclave

b - Le bus utilisé par le système fait partie de la famille des réseaux locaux industriels. Il permet la communication entre l'automatisme et l'informatique. Il est classé parmi les « Field bus » permettant la communication entre unités de traitement (automate, centrale de mesure).

Il existe d'autres catégories de bus pour les différents niveaux de communications dans les systèmes : Sensor bus, Device bus et Data bus.

Compléter le tableau suivant :

Type de bus	Utilisation	Volume d'échange	Exemple
Sensor bus	Bus de capteurs/actionneurs	faible	Bus ASI, Bus CANopen, Batibus
Data bus	Bus informatique	importants	Ethernet TCP/IP

c - L'alimentation haute tension du poste Cantal, depuis le poste principal, génère un champ électrique ; ce champ est présent autour de la canalisation support de cette alimentation. Le câble du réseau communicant permettant le raccordement des sous répartiteurs 2 et 3 et l'armoire de brassage sera installée à proximité de ce chemin de câble. Une mesure sur le site a permis de relever la valeur de ce champ électrique : $E = 1V/m$.

Exprimer l'évolution de ce champ électrique en fonction de la distance (source et point exposé). Donner le principe à mettre en œuvre pour relever le champ. Proposer une solution pour minimiser les effets de cette perturbation :

Le champ électrique produit par une source x (ici l'alimentation HT) est inversement proportionnel au carré de la distance existant entre la source et le point de « mesure ».

Pour relever le champ électrique il suffit d'utiliser un dipôle linéaire raccordé à un galvanomètre.

Il faut éloigner le câble courant faible de la source de perturbation.

d - Comparer les principaux types de câbles utilisés pour les réseaux :

Type de câble	débit	Longueur maxi	Incidence de la perturbation du à ce champ électrique	Avantages	Inconvénients
Fil unique non blindé			Très importante, la totalité de la perturbation se retrouvera sur le signal véhiculé.		

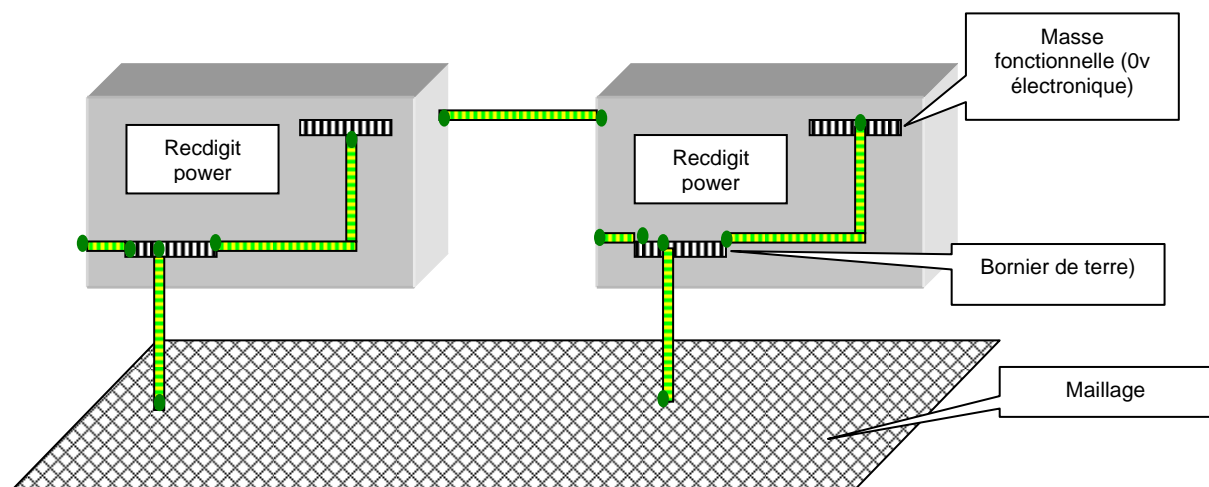
Coaxial (avec masse raccordée)	<i>Dizaine de Mégabits</i>	<i>2000m</i>	<i>Aucune si le raccordement de la masse est réalisé dans les règles de l'art</i>	<i>Bonne immunité Raccordement</i>	<i>Pose Prix</i>
Paire torsadée	<i>Quelques centaines de Kbits</i>	<i>1000m</i>	<i>En théorie pas d'influence, mais la pose du câble étant aléatoire, elle induit une dissymétrie du torsadage et donc des perturbations se retrouve sur le signal</i>	<i>Facilité de pose et de raccordement Prix</i>	<i>Faible immunité Forte atténuation</i>
Fibres optiques	<i>Gigabits</i>	<i>Dizaine de Kms</i>	<i>Aucune influence sur le signal lumineux</i>	<i>Immunité parfaite Atténuation faible</i>	<i>Prix Raccordement et pose</i>

- e - Le raccordement des appareils dans le TGBT TR1-TR2 est réalisé à l'aide de câbles à paires torsadées. Il est recommandé d'utiliser avec le matériel installé des câbles blindés. Quelles sont les précautions de raccordement à respecter pour le blindage ?

Raccorder aux deux extrémités les blindages de toutes les liaisons numériques à la masse. Le raccordement bilatéral de l'écran protège contre les perturbations les plus sévères.

Raccordement par cavalier sur barre de masse, presse étoupe métallique ou bornier avec continuité électrique entre la mécanique du connecteur et le blindage du câble.

- f - La communication entre les centrales de mesures situées dans le TGBT TR1-TR2 peut être soumise à de fortes perturbations. Le raccordement à la terre des masses doit être soigné. Représenter ces liaisons sur le schéma ci-après.



Expliciter, pour cet îlot technique, les précautions à prendre.

Un équipement électronique possède une masse fonctionnelle (zéro volt électronique) qui doit servir de référence de potentiel. Celle-ci est connectée à la masse d'utilisation par un conducteur qui, elle-même, est connectée à la terre par la barrette de terre. Pour des raisons d'immunité aux perturbations électriques externes, il faut que le maillage du plancher joue au mieux son rôle de cage de Faraday. Le maillage consiste en un raccordement systématique de toutes les structures métalliques de l'installation.

C'est pourquoi les masses d'utilisation seront raccordées à ce maillage par un conducteur.

Pour la communication entre deux équipements électroniques, le bus de communication est connecté, à chaque bout, aux masses fonctionnelles de ces équipements qui doivent être parfaitement équipotentielles.

Si ces 2 équipements sont proches, (les 2 centrales Power M) il est conseillé d'interconnecter directement les 2 masses d'utilisation afin de mettre au même potentiel les 2 masses fonctionnelles.

CORRIGE

g - Le schéma de liaison à la terre étant de type TN, énoncer le principe des deux types de schémas TN et les dessiner.

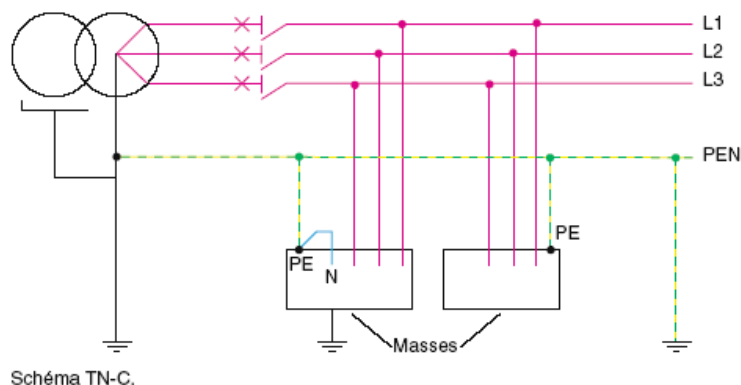
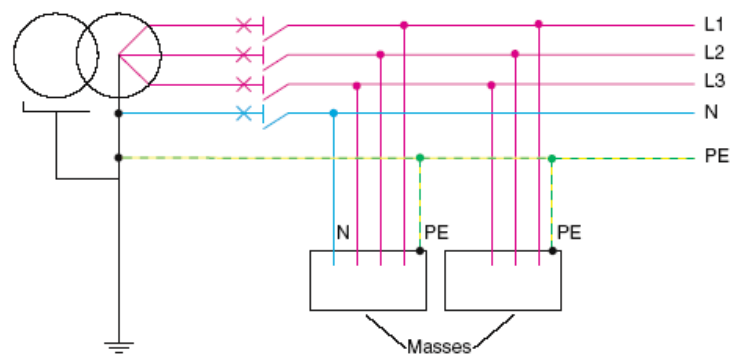
Principe du schéma TN : Le principe de ce type de schéma dit de "mise au neutre" est de transformer tout défaut d'isolement en court-circuit monophasé phase neutre.

Dans ce type de schéma :

- le point neutre BT de chaque source est relié directement à la terre
- toutes les masses de l'installation sont reliées au neutre et donc à la terre par le conducteur de protection (PE ou PEN). Ce raccordement direct transforme tout défaut d'isolement en court-circuit phase-neutre qui sollicite les protections de surintensité
- le conducteur de protection doit être maintenu à un potentiel proche de celui de la terre par des liaisons en de nombreux points

Deux principaux schémas TN existent en fonction de la disposition du conducteur neutre et du conducteur de protection :

- TN-S dans lequel un conducteur de protection (PE) distinct du neutre (N) est utilisé
- TN-C dans lequel les fonctions de neutre et de protection sont combinées en un seul conducteur, appelé PEN.



h - Le schéma installé dans l'usine est de type TN-C, il est fortement perturbant pour les systèmes communicants.

L'installation comprend plusieurs îlots techniques communicants : les 2 TGBT, l'armoire AD2, les centres de supervision situés dans les locaux administratifs et les services d'entretien. Les liaisons entre ces îlots techniques seront soumises à ces perturbations. De plus le voisinage de la ligne 20 000V avec le bus entre les 2 TGBT existe sur une distance importante.

Donner la solution technique envisagée pour assurer ces liaisons et s'affranchir de ces perturbations. Justifiez le choix.

*Utilisation de fibres optiques pour assurer les liaisons verticales entre les différents îlots techniques.
Forte immunité, longue distance, grand débit.*

i - Afin de faciliter la cohabitation des différents systèmes communicants, on décide d'installer des passerelles Modbus/TCP-IP en sortie des TGBT TR1-TR2, du TGBT Cantal et de l'armoire AD2.

Quels sont les avantages de ce choix ?

*Liaison Ethernet au réseau informatique existant.
Câblage sur l'armoire de brassage.
Accessibilité des données n'importe quel poste informatique.
Possibilité de visualisation à distance, hors usine.
Débit important.
Cohabitation de plusieurs systèmes Modbus.*

j - Le réseau local obtenu est décrit par le synoptique des systèmes communicants.

Décrire les différentes liaisons existantes entre les appareils communicants. Effectuer un choix de câbles pour chaque type de liaisons. Les câbles reliant les sous répartiteurs aux différents points d'utilisations (PC ou appareillages) sont en cuivre.

j1- Donner les caractéristiques des liaisons entre répartiteur et sous répartiteurs (liaison verticale) :

*Câble Fibre optique 6 fibres
Fibre multimode 50/125 μm (500-800) ou (500-1200) «Conformes à la catégorie OM2 »de type OM2
Câbles de type mini break out 900 μm
Gaine LS0H ou LSZH (Low Smoke Zero Halogen) pour liaisons intérieures*

Exemple de choix : Référence : ACO M9860BST

j2- Donner les caractéristiques des liaisons entre sous répartiteurs et points d'utilisations (PC ou passerelle d'interface des appareils communicants) :

*Câble VDI cuivre 4 paires torsadées
Impédance 100ohms
Type SFTP pour environnement industriel perturbé.
Catégorie 5 ou 6 (performances élevés cat. 6)
Gaine LS0H ou LSZH (Low Smoke Zero Halogen) pour liaisons intérieures*

Exemple de choix : Référence : ACO R7118ST ou ACO R7118T5

j3- Donner les caractéristiques des liaisons entre les appareils communicants (bus Modbus) :

*Câble RS485 cuivre 1 paire torsadée
Gaine PVC (LS0H non indispensable car les câbles sont posés dans des enceintes fermées)
Liaisons courtes (peu de quantité)*

Exemple de choix : Référence : BLN 9841T2

k - Quels sont les éléments principaux qui composent le répartiteur général ?

- Panneaux de brassages pour connecteurs RJ45
- Blocs de connecteurs RJ 45
- Panneaux pour connecteurs optiques
- Panneaux prises de courant
- Panneaux de brassages téléphone
- Switch ou commutateur
- Routeur passerelle vers l'extérieur (internet)

L'étude porte sur la vérification du dimensionnement du moteur entraînant les pales de brassage et de découpage d'une cuve de fabrication du cantal et sur la réalisation d'une fiche de maintenance préventive pour ce dit moteur.

- Présentation :

Parmi les étapes entrant dans la fabrication du cantal, la première est réalisée en cuve. Il s'agit de transformer le lait en caillé.

Après emprésurage, le lait se transforme en caillé ; c'est la coagulation de la caséine du lait qui dure environ une heure. A l'issue de ce temps, le caillé est découpé puis est rassemblé ; lors de cette opération, le caillé se sépare naturellement du sérum (petit lait) qui remonte en surface. Ce sérum est aspiré par le haut de la cuve. Enfin le caillé est sorti de la cuve pour subir les autres étapes de fabrication sur d'autres équipements.



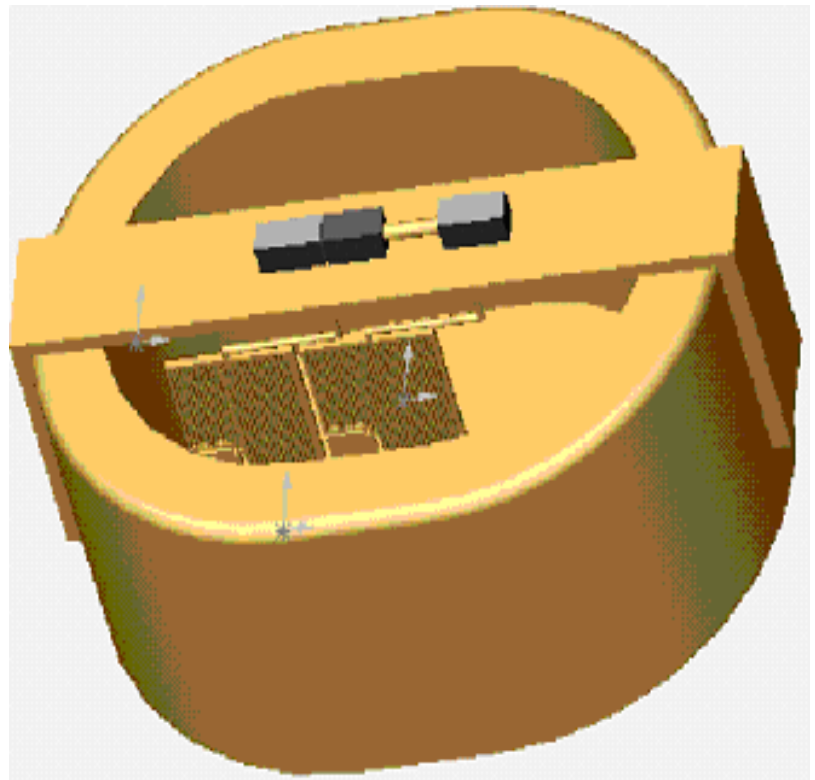
Les deux opérations de découpage puis de brassage sont réalisées en utilisant le même outil (voir schémas et plans ci-dessous).

Croquis simplifié du système :

Le brassage et le découpage sont assurés par deux outils identiques (voir croquis page suivante). Ils sont entraînés par le même moteur électrique par l'intermédiaire de deux réducteurs. Sur le réducteur 2 la sortie est inversée. Les outils tournent donc en sens inverse.

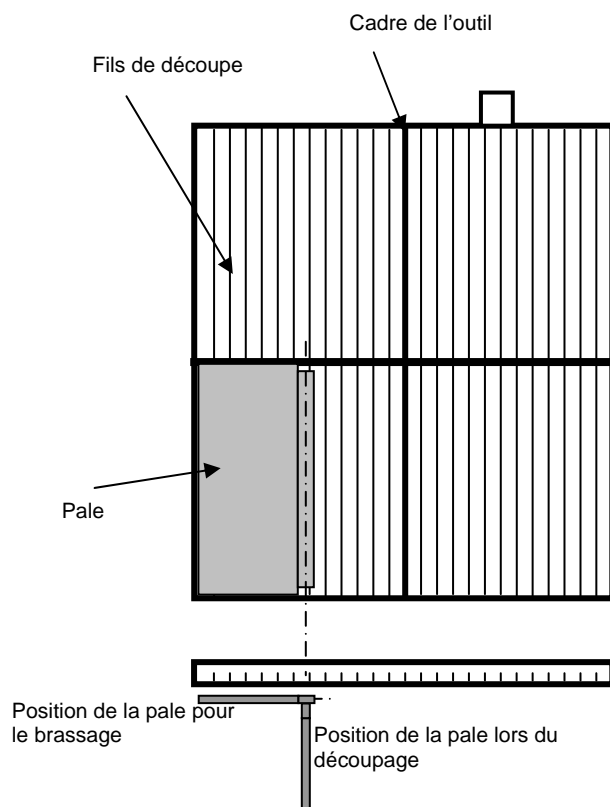
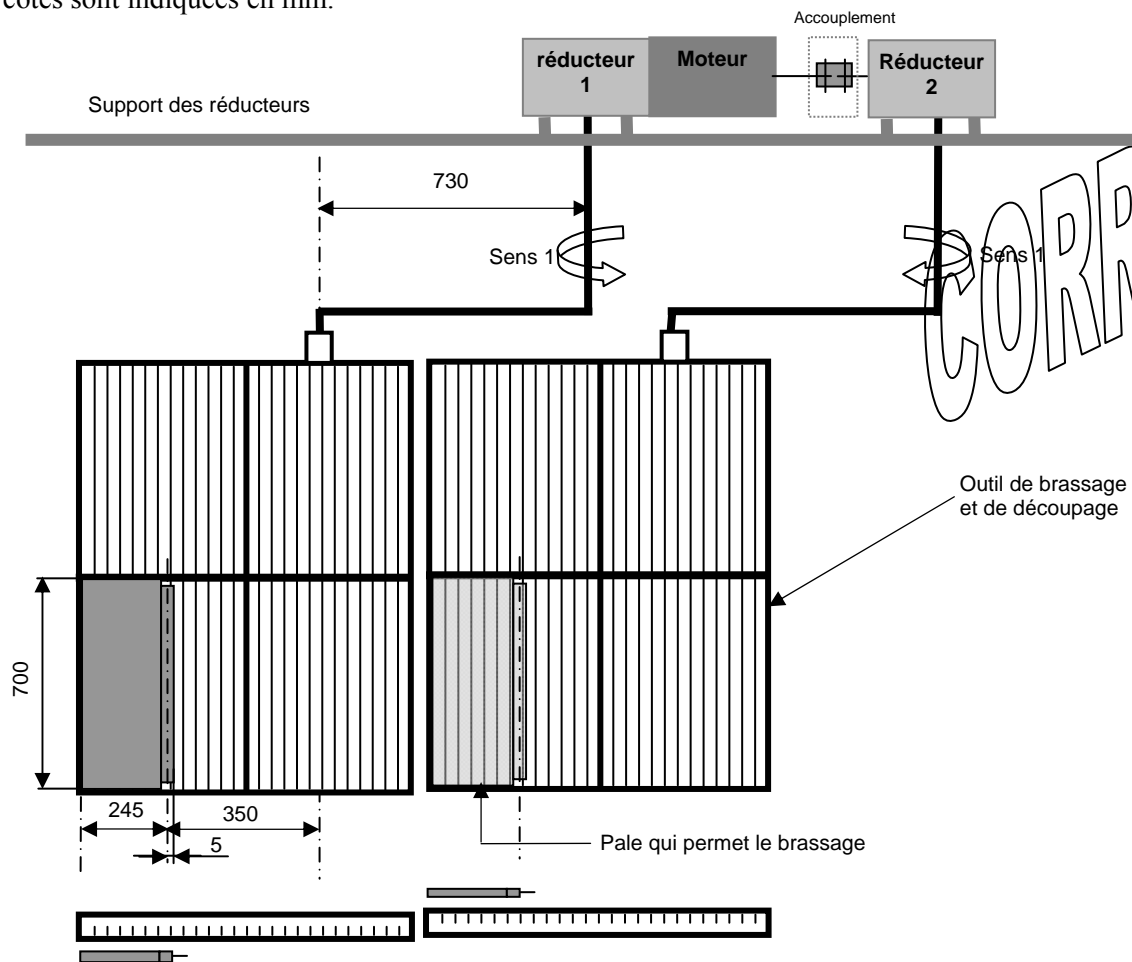
Le brassage est assuré par le sens 1 du moteur ; dans ce cas, la pale de chaque outil est dans le plan de l'outil ; c'est grâce à toute sa surface que le caillé est brassé.

Pour le découpage du caillé, le moteur tourne dans le sens 2. Chaque pale se positionne perpendiculairement à l'outil. Ce sont alors les fils de découpe qui tranchent le caillé.



Croquis du sous-ensemble « brassage découpage » :

Les cotes sont indiquées en mm.



Variateur : LSFMV 2303 8T

Moteur : FMV3 100L4 -
2,2 kW – 1500 tr.mn⁻¹ -
220/380 V - IP55

Réducteurs : OT2403
 $n_s = 11,5 \text{ tr.mn}^{-1}$

C1 – Déterminer par le calcul la puissance que doit fournir le moteur et sa fréquence de rotation (toutes les étapes du calcul seront développées ci-dessous).

La cuve a une capacité de 12 000 litres de lait. La vitesse maximum de brassage et de découpage est de 11,5 tr.mn⁻¹.

Pour ce calcul de puissance plusieurs hypothèses sont à poser. Les masses des éléments (outils, pales, bras de levier, etc.) sont négligeables. Le caillé n'oppose aucune résistance sur le cadre et les fils de découpe des outils. La résultante des actions du caillé sur la pale s'applique au centre de gravité de cette dernière. Elle est normale au plan de la pale. Pour une surface plane se déplaçant dans un liquide, cette résultante est $F = k.S.V^2$ avec k , un coefficient qui tient compte de la forme de la pale et de la viscosité du lait (ici $k = 1,4.10^3$) ; F est exprimé en N, S la surface de la pale en m² et V la vitesse linéaire de la pale en m.s⁻¹.

$$Pu_{\text{réducteur}} = F.V \text{ avec } F = k.S.V^2 \text{ et } V = R.\omega \text{ et } \omega = 2.\pi.n$$

$$(\text{ou } Pu_{\text{réducteur}} = C. \omega \text{ avec } C = F. D)$$

$$\rightarrow V = R.2. \pi.n \rightarrow V = (0,73+0,35+0,1225) \times 2 \times \pi \times (11,5/60) \rightarrow V = 1,448 \text{ ms}^{-1}$$

$$F = 1400 \times (0,70 \times 0,25) \times 1,448^2 \rightarrow F = 513,7 \text{ N}$$

$$Pu_{\text{réducteur}} = 513,7 \times 1,448 \rightarrow P = 743,8 \text{ w}$$

Cette puissance est nécessaire 2 fois, à la sortie de chaque réducteur donc

$$Pu_{\text{moteur}} = 2 \times (Pu_{\text{réducteur}} / \eta_{\text{réducteur}}) \rightarrow Pu_{\text{moteur}} = 2 \times (743,8 / 0,97) \rightarrow Pu_{\text{moteur}} = 1533 \text{ w}.$$

$$N_{\text{moteur}} = N_{\text{pale}} \times \text{rapport de réduction} \rightarrow N_{\text{moteur}} = 11,5 \times 124 \rightarrow N_{\text{moteur}} = 1426 \text{ tr.min}^{-1}$$

C2 – Justifier le dimensionnement du moteur. En déduire le coefficient de sécurité.

Sa puissance utile de 2,2 kw est supérieure à la puissance maximale nécessaire (1533W) lors du brassage et sa vitesse de synchronisme de 1500tr/min (pour f de la tension d'alimentation = 50hz) permet d'obtenir la vitesse maximale de 1426 tr/min demandée.

$$\text{Coef sécurité} = 2200 / 1533 = 1,43$$

C 3 – Expliquer le fonctionnement de l'ensemble variateur moteur. Vous développerez particulièrement :

- le principe de fonctionnement du moteur,
- les différentes techniques pour faire varier la vitesse de ces moteurs,
- le principe de fonctionnement du variateur utilisé en indiquant les différents blocs fonctionnels et leur rôle.

C'est un moteur asynchrone triphasé : Le stator est constitué de 3 enroulements, ces 3 enroulements alimentés par 3 courants triphasés créent un champ magnétique tournant à la vitesse de synchronisme, celle-ci dépend du nombre de paire de pôle « créé » lors du bobinage. Le rotor dit à cage d'écureuil, siège de courants induits qui s'opposent à la cause qui leur donne naissance (loi de Lenz $e = -d\Phi/dt$) est entraîné en rotation par le champ magnétique statorique. De cette opposition apparaît un glissement qui va croissant avec la charge.

Pour faire varier la vitesse d'un moteur asynchrone on fait varier la fréquence de la tension d'alimentation du moteur car $n = f/p$ ou p nombre de paires de pôles est constant. On obtient une vitesse directement proportionnelle à la fréquence de U . Cette solution n'a qu'un seul inconvénient son coût de mise en œuvre mais c'est maintenant la plus utilisée.

Le variateur utilisé est un modulateur de fréquence. Il fait varier la fréquence de la tension en maintenant le rapport U/f constant.

Le modulateur redresse la tension du réseau grâce à un pont mixte, lisse le courant avec la bobine et enfin ondule la tension continue obtenue par les 2 blocs précédents en modulation de largeur d'impulsion.

C4 – Justifier le choix de n'utiliser qu'un seul moteur pour entraîner les deux outils. Vous donnerez trois raisons au moins :

Raison économique : achat d'un seul moteur et d'un seul variateur ; simplification de l'installation tant mécanique qu'électrique ; simplification de la maintenance.

Raison technique : sûreté de fonctionnement, les pales ne pourront jamais entrer en collision ;

Raison qualitative : le brassage et le découpage se font à la même vitesse dans toute la cuve.

C5 – On vous demande d'élaborer une fiche qui permettra au service maintenance de vérifier périodiquement tant « l'état » électrique que mécanique du moteur. Donner le mode opératoire pour

vérifier l'isolement électrique du moteur et la gamme de démontage de l'ensemble moteur-réducteurs afin de faire remplacer les roulements du moteur en atelier par un mécanicien.

NB : cette gamme fera apparaître toutes les étapes de l'opération.

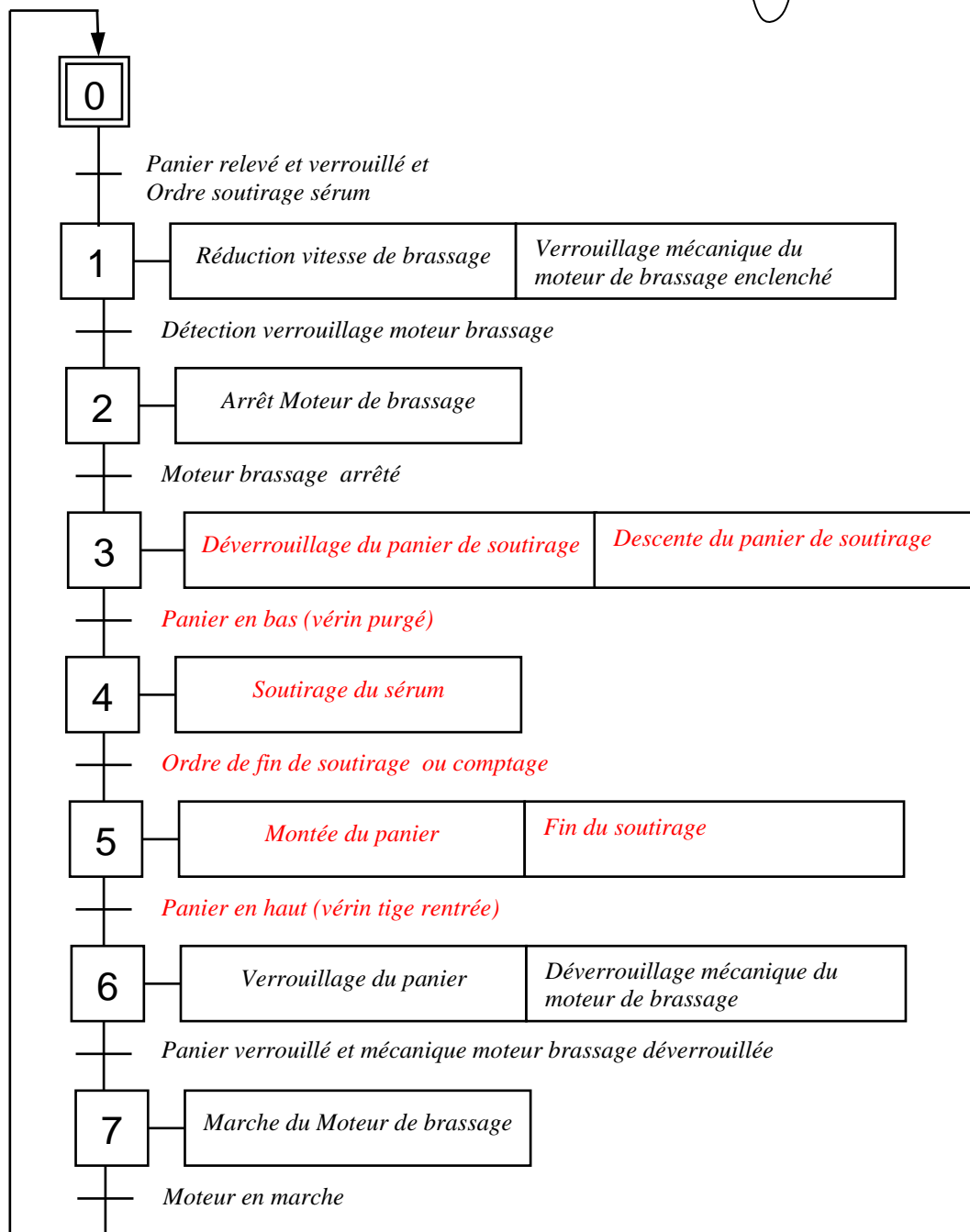
Fiche de maintenance du moteur d'entraînement des outils de la cuve cantal

Opérations à réaliser	Explications	Equipements
Séparer électriquement l'alimentation du moteur	Ouverture de QCF1	EPI (gants et sur gants, écran facial, tapis ou tabouret isolant)
Condamner l'alimentation du moteur	Condamnation de QCF1	EPI
Vérifier la séparation	Au niveau de QCF1, vérification de tension en amont puis vérification de séparation en utilisant la méthode amont aval au niveau des pôles de sectionnement.	EPI + VAT
Vérifier l'absence de tension aux bornes du moteur	Au niveau des bornes de raccordement du moteur entre les trois bornes d'alimentation	EPI + VAT
Débrancher électriquement le moteur dans sa plaque à borne		Outils d'électricien
Démonter le réducteur 2		Clefs
Désaccoupler le moteur		
Transporter le moteur au service maintenance		
Vérifier les enroulements (isolements entre eux, isolements par rapport à la masse, valeur ohmique)	Enlever le couplage des enroulements. Vérifier l'isolement entre les enroulements. Refaire le couplage et vérifier l'isolement des enroulements par rapport à la masse. Mesures sous 500 V, valeur d'isolement mini > à 0,5MΩ au bout de 10min. Index de polarisation : $R_{10min} / R_{1min} > 2$. Ratio d'absorption diélectrique : $R_{1min} / R_{30s} > 1.25$.	
Démonter les 2 flasques du moteur		Clefs, arrache moyeu
Faire remplacer les roulements puis remonter le moteur		
Retour sur le système		
Remonter le moteur sur le réducteur 1		
Remonter le réducteur 2		
Raccorder électriquement le moteur		
Déconsigner l'installation		
Remettre l'installation sous tension		
Effectuer les essais de bon fonctionnement du moteur		
Renseigner la fiche de suivi de maintenance préventive.		Fiche de suivi de maintenance

Partie D : automatisme d'une cuve de fabrication du cantal

Le service de maintenance souhaite améliorer les documents décrivant le fonctionnement des cuves à fromages fermées, afin de faciliter les interventions de maintenance. L'outil de description retenu est le GRAFCET.

D1 – A l'aide des documents fournis, compléter le GRAFCET d'un point de vue système décrivant le fonctionnement de la phase de soutirage du sérum.



Partie E : conditionnement de l'air d'une cave d'affinage du cantal

L'étude porte sur le dimensionnement du conditionneur frigorifique d'une cave. On vous demande de réaliser le bilan thermique de la cave pour vérifier les caractéristiques techniques qui ont conduit au choix du conditionneur en place.

CORRIGE

- Présentation - :

Chaque cave d'affinage est équipée d'un conditionneur d'air inox, situé en galerie technique et comprenant différentes sections :

. Une section de reprise d'air.

Elle est constituée d'une reprise d'air de la cave et d'une arrivée d'air neuf ; elle fonctionne grâce à deux ventilateurs hélicoïdes.

. Une section de lavage d'air.

Elle est utile dans les cas suivants :

- lorsqu'il est nécessaire de standardiser la composition de l'air (dissolution du CO₂, de l'ammoniac),
- lorsque l'on veut se prémunir de l'agressivité de l'ambiance (acide lactique, vapeurs d'ammoniac),
- lorsque l'on recherche des hygrométries importantes (humidification),
- lorsque la charge interne de la cave varie,
- lorsque l'on veut protéger les batteries d'échange.

. Une section batteries d'échange.

Composée d'une batterie chaude et d'une batterie froide.

. Une sortie d'air traité.

. Des gaines textiles pour diffuser de façon homogène l'air traité dans la cave.

. Une régulation de température et d'hygrométrie de l'air.



E 1 – Déterminer la quantité de chaleur à retirer de la cave (toutes les étapes du calcul seront développées ci-dessous).

E11 – Calculer les apports de chaleurs par transmission à travers les parois.

Puissance surfacique ($P = K.S. \Delta\theta$ en W)

Mur : $P = 0,157 \times (20 \times 7 + 19,3 \times 7) \times 2 \times (28 - 4) = 2\,073 \text{ W}$

Sol $P = 1,4 \times (20 \times 19,3) \times (15 - 4) = 5\,944 \text{ W}$

Plafond $P = 0,22 \times (20 \times 19,3) \times (28 - 4) = 2\,038 \text{ W}$

$$P_{s \text{ total}} = 10\,055 \text{ W}$$

Puissance linéique ($P = k.L. \Delta\theta$ en W)

$$P = 0,7 \times (20 \times 4 + 19,3 \times 4 + 7 \times 4) \times (28 - 4) = 3\,111 \text{ W}$$

CORRIGÉ

Définir, sur une durée de 24 heures, les apports par transmission :

$$Q_1 = (P_s + P_L) \cdot 24 \cdot (3600/1000) = (10\,055 + 3\,111) \times 24 \times (3600/1000) = 113\,754 \text{ kJ}$$

E12 – Calculer les apports de chaleurs par renouvellement d'air

$$Q_2 = (N.V.ke)/V_e$$

$$Q_2 = (1,1 \times 2702 \times 49) / 0,8$$

$$Q_2 = 182\,047 \text{ kJ.}$$

E13 – Calculer les apports de chaleur par les produits

$$Q_3 = m.C. \Delta\theta$$

$$Q_3 = 324\,000 \times 2,1 \times (15 - 4)$$

$$Q_3 = 7\,484\,400 \text{ kJ}$$

E14 – Calculer les apports de chaleur divers (éclairage, manutention, personnel)

Eclairage : $Q = P.t = (2 \times 36 \times 24) \times 5 \times (3600/1000) = 31\,104 \text{ kJ}$

Personne : $Q = P.t = (240 \times 5) \times (3600/1000) = 4\,320 \text{ kJ}$

Manutention : $Q = P.t = (4000 \times 5) \times (3600/1000) = 72\,000 \text{ kJ}$

$$Q_4 = 107\,424 \text{ kJ}$$

E 2 – Calculer la quantité de chaleur à retirer de la cave et en déduire la puissance frigorifique du conditionneur

$$Q_T = \Sigma Q_i = 113\,754 + 182\,047 + 7\,484\,400 + 107\,424 = 7\,887\,625 \text{ kJ}$$

$$P_{\text{frigo}} = Q_T / (3600 \cdot t) = 7\,887\,625 / (3600 \times 18) = 122 \text{ kW}$$

CORRIGÉ

E 3 – Donner la référence du conditionneur

Thygre 60 000

E 4 – Donner le principe de fonctionnement du conditionneur

Les conditionneurs d'air inox comprennent différentes sections que l'air traverse dans l'ordre suivant :
La section de reprise d'air, grâce à ces 2 ventilateurs hélicoïdes, permet de récupérer l'air de la cave, de le compléter avec un apport d'air neuf et de forcer la circulation d'air dans le conditionneur.

L'air soufflé est conduit vers la section de lavage qui comprend un bac à niveau constant muni d'un trop-plein et d'une vidange. Un appoint d'eau continu permet un renouvellement de l'eau (déconcentration des produits dissous).

Un système de pulvérisation d'eau assure le lavage de l'air grâce à des pulvérisateurs en acier inoxydable montés sur une rampe en inox.

La pompe de lavage, placée sur le côté du caisson, fonctionne en circuit fermé sur le bac.

Son fonctionnement est sécurisé par un détecteur de niveau à flotteur interdisant la marche en cas, de manque d'eau dans le bac.

L'air lavé et humide passe alors au travers d'une section de batteries d'échange constituée d'une batterie froide en tubes et ailettes galvanisés et d'une batterie chaude à tubes lisses galvanisés au bain, elle permet d'obtenir les conditions de température demandées par circulation d'eau froide et d'eau chaude.

La section de soufflage d'air constituée d'un plénum de soufflage en partie haute du conditionneur, avec 2 gaines en inox permet la liaison avec les gaines textiles implantées dans la salle. Ces gaines textiles sont réparties dans le local de façon à réaliser une répartition homogène de l'air traité.

Une sonde de température et d'hygrométrie combinée (ROTRONIC), placée à l'intérieur du local, agit sur un régulateur DC 9100 (JOHNSON) ; celui-ci compare la mesure à la consigne affichée.

En fonction de l'écart, il émet un signal qui fait réagir une vanne 3 voies modulante contrôlant la circulation d'eau glycolée et une vanne 3 voies modulante contrôlant la circulation d'eau chaude.

En demande de froid, la régulation pilote la vanne froid

En demande de chaud, la régulation pilote la vanne chaud

En demande de déshumidification, la régulation pilote la vanne froid.