

TRAVAIL DEMANDÉ :

PARTIE A

DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE

Prendre connaissance du dossier ressource « Annexes Partie A ».

Caractéristiques de l'installation actuelle

Poste de livraison de type «intérieur» alimenté sous 15 kV en double dérivation.

Transformateur du poste du type « respirant avec conservateur » 15 kV /380V - 630 kVA Dyn11
 $U_{cc} = 4\%$.

Schéma de Liaison à la Terre : IT. Longueur du réseau BT inférieure à 10 km.

Transformateur situé à quelques mètres des cellules HT et du Tableau TGBT.

Contrat souscrit auprès du distributeur d'énergie : 560 kW pour toutes les périodes tarifaires.

Modifications

Le réseau HTA du distributeur d'énergie sera prochainement rénové :

- l'alimentation HTA du poste de livraison sera assurée en 20 kV,
- le poste restera alimenté en double dérivation mais sera remplacé.

En vue de futures extensions, la puissance du transformateur de remplacement sera de 800 kVA.
 S_{cc} du réseau HT = 250 MVA.

A.1. Alimentation HTA.

A.1.1. Quel est l'intérêt d'une alimentation en double dérivation ?

En double dérivation, le poste peut être alimenté par l'une ou l'autre des 2 dérivations auxquelles il est raccordé.

En cas de défaillance de l'une, il peut être alimenté par l'autre en quelques secondes.

Cette disposition permet d'améliorer la continuité de l'alimentation.

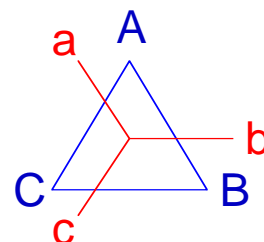
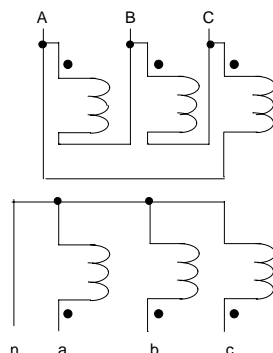
A.2. Transformateur de remplacement

Type « Etanche à Remplissage Total »

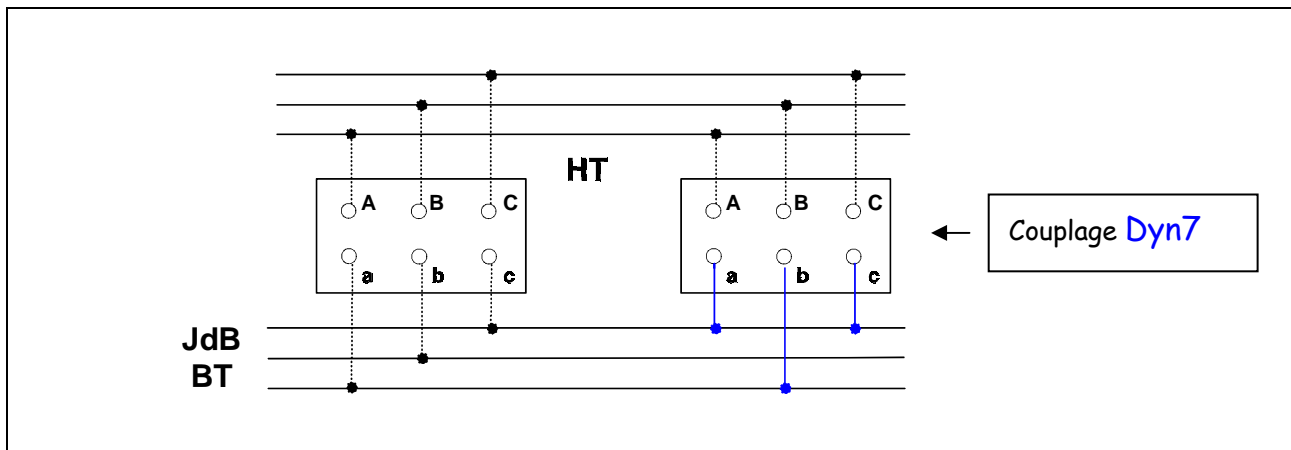
20kV/410V - 800 kVA

Dyn11 $U_{cc} = 4,5\%$. Pertes cuivre = 10,5 kW

A.2.1. Représenter le diagramme de Fresnel des tensions primaire et secondaire du transformateur de remplacement.



A.2.2. Si ultérieurement sa puissance devenait insuffisante, quel devrait être le couplage du transformateur à raccorder en parallèle parmi les 4 suivants : Dyn4, Dyn5, Dyn6 ou Dyn7 ? Compléter le schéma de raccordement des bornes du secondaire sur le Jeu de barres BT en conséquence.



A.2.3. Calculer la valeur maximale du courant de crête au primaire du transformateur sachant que, d'après les « données constructeur » d'un transformateur de 800 kVA, $\hat{I}_{\text{crête}} = 10 \times I_{\text{nominal}}$.

$$\hat{I}_{\text{crête}} = 10 I_{1n}$$

$$I_{1n} = S_n / \sqrt{3} U_{1n}$$

$$= 800 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 20 \times 10^3) = 23,1 \text{ A}$$



$$\Rightarrow \hat{I}_{\text{crête}} = 10 \times 23,1 = 231 \text{ A}$$

A.2.4. Calculer la valeur du courant I_{k3p} au primaire, lors d'un court-circuit triphasé au secondaire du transformateur (on admettra pour ce calcul que la puissance du réseau amont est infinie).

Quand le transformateur débite $I_{2n} \Rightarrow I_{\text{au primaire}} = I_{1n} = 23,1 \text{ A}$.

Quand le secondaire est en court-circuit,

$$\text{le courant de court-circuit } I_{k3} = I_{2n} \times 100 / U_{cc} \Rightarrow I_{k3p} = I_{1n} \times 100 / U_{cc} \\ = 23,1 \times 100 / 4,5 = 513,3 \text{ A}$$

A.2.5. Calculer le courant de court-circuit triphasé I_{k3} côté HT du nouveau réseau.

$$S_{ccHT} = 3 U_{1n} I_{k3HT} \Rightarrow I_{k3HT} = S_{ccHT} / \sqrt{3} U_{1n}$$

$$= 250 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 20 \times 10^3) = 7,21 \text{ kA}$$

A.3. Etude du nouveau poste de livraison

A.3.1. Etablir et justifier la référence complète de la cellule SCHNEIDER SM6 de protection du transformateur (voir **Annexes A1 à A3**).

D'après l'annexe A3, sachant que le poste est à diélectrique liquide, que $I_{1n} < 45A$ (23,1 A) et que les cellules sont à moins de 100m du transformateur, on doit prévoir une cellule de protection de type **QM** (que la marche triphasée soit obligatoire ou non et que la protection soit assurée par relais indirect ou non). D'après les annexes A1 et A2, sa référence complète est la suivante :

QM	200	-	24	-	20
Cellule de protection avec inter combiné	Courant assigné (A)		Tension assignée (kV)		Courant admissible de courte durée (kA)

A.3.2. Etablir et justifier la référence complète de la cellule SCHNEIDER SM6 de raccordement au réseau (voir **Annexes A1 à A3**).

DDM	400	-	24	-	12,5
Arrivée en double dérivation	Caractéristiques de la cellule (voir annexe 2)				

A.3.3. Le fabricant du transformateur précise que la protection contre les surintensités au primaire doit être assurée par 3 fusibles Soléfuse 43A (voir **Annexes A4 et A5**). Justifier chacun des critères qui ont conduit le fabricant à ce choix.

Les 5 critères de choix suivants doivent être validés, ce qui est le cas. En effet :

▪ Un fusible > U réseau	<i>Un fusible = 24 kV et U réseau = 20 kV</i>
▪ $I_1 > Ik_3$	<i>I_1 (pouvoir de coupure du fusible) = 30 kA On a calculé en A2.5 Ik_3 côté HT = 7,21 kA</i>
▪ I fusion au bout de 0,1s > I appel crête	<i>D'après la courbe de l'annexe A5, I fusion au bout de 0,1s > 4 kA et I appel crête calculé en A2.3 = 231 A</i>
▪ $I_3 < Ik_3$	<i>I_3 du fusible = 193 A et Ik_3 calculé en A2.4 = 513,3A</i>
▪ $I_n \text{ fusible} > 1,3 I_{1n}$	<i>$I_n = 43 A$ $I_{1n} \times 1,3 = 23, X 1,3 = 30 A$</i>

Les 5 critères sont donc bien vérifiés.

A.4. Distribution BTA

On admettra pour la suite que la tension nominale du réseau $U_n = 400V$ et que la tension à vide du transformateur $U_{20} = 410V$.

A.4.1. Calculer l'intensité nominale BT du transformateur.

$$I_{2n} = S_n / \sqrt{3} U_{20} = 800 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 410) = 1126,5 \text{ A}$$

(les constructeurs pour un transformateur de 800 kVA donnent $I_{2n} = 1127A$)

A.4.2. Calculer l'intensité de court-circuit triphasé I_{k3} au niveau des bornes aval du disjoncteur général BT **QG** (voir schéma unifilaire question A.6) sachant que la liaison du transformateur au disjoncteur est de 5m et qu'elle sera assurée pour chaque phase par un câble unipolaire 630mm² cuivre. Ces câbles seront posés en nappe serrée.

Le disjoncteur **QG** est installé à l'extrémité du câble de 630 mm².

L'intensité de court-circuit I_{k3} est donc limitée par les impédances du réseau amont, du transformateur, du câble et des pôles de **QG**.

$$I_{k3} = U_{20} / \sqrt{3} Z_T \text{ avec } Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

$$R_T = R_a + R_2 + R_3 + R_4$$

$$X_T = X_a + X_2 + X_3 + X_4$$

$$\begin{aligned} \bullet R_a &= 0,2 Z_a \quad X_a = 0,98 Z_a \quad \text{avec } Z_a = U_{20}^2 / S_{cc} = 410^2 / 250 \times 10^3 = 0,67 \text{ m}\Omega \\ &\Rightarrow R_a = 0,134 \text{ m}\Omega \quad \text{et } X_a = 0,657 \text{ m}\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet R_2 &= W_c \times U_{20}^2 \times 10^{-3} / S_n^2 = 10500 \times 410^2 \times 10^{-3} / 800^2 = 2,758 \text{ m}\Omega \\ &\Rightarrow R_2 = 10500 \times 410^2 \times 10^{-3} / 800^2 = 2,758 \text{ m}\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet X_2 &= \sqrt{Z_2^2 - R_2^2} \text{ avec } Z_2 = U_{cc} \times U_{20}^2 / 100 S_n = 4,5 \times 410^2 / (100 \times 800) = 9,456 \text{ m}\Omega \\ &\Rightarrow X_2 = \sqrt{9,456^2 - 2,758^2} = 9,045 \text{ m}\Omega \end{aligned}$$

$$\bullet R_3 = \rho L / s = 22,5 \times 5 / 630 = 0,179 \text{ m}\Omega \quad X_3 = 0,095 \times 5 = 0,475 \text{ m}\Omega$$

$$\bullet R_4 = 0 \quad X_4 = 0,15 \text{ m}\Omega$$

\Rightarrow Au niveau des bornes aval du disjoncteur général BT **QG** :

$$\bullet R_T = 0,134 + 2,758 + 0,179 = 3,071 \text{ m}\Omega$$

$$\bullet X_T = 0,657 + 9,045 + 0,475 + 0,15 = 10,327 \text{ m}\Omega$$

$$\Rightarrow Z_T = \sqrt{3,071^2 + 10,327^2} = 10,774 \text{ m}\Omega$$

$$\Rightarrow I_{k3} = 410 / (\sqrt{3} \times 10,774) = 21,97 \text{ kA}$$

A.4.3. « QG » est un disjoncteur C1251N équipé d'un déclencheur STR 25 DE. Préciser et justifier tous les critères de choix de cette protection (voir **Annexes A7 et A8**).

$I_{2n} = 1126,5 \text{ A}$	$I_{k3} = 21,97 \text{ kA}$	Réseau $3 \times 400 \text{ V} + \text{N}$
<ul style="list-style-type: none"> Le courant assigné du disjoncteur doit être $> I_{2n}$ <i>Ceci est vérifié (1250A)</i> Le Pouvoir de coupure ultime I_{cu} doit être $\geq I_{k3}$ <i>Ceci est vérifié ($I_{cu} = 50 \text{ kA}$)</i> Le déclencheur thermique (ou Long Retard) doit être réglable à I_{2n} <i>Ceci est vérifié (réglage possible entre $0,4I_n$ et I_n soit 500 et 1250A)</i> 		

A.4.4. Deux sélecteurs K_{I0} et K_{Ir} permettent de régler le seuil de déclenchement I_r du déclencheur Long Retard.

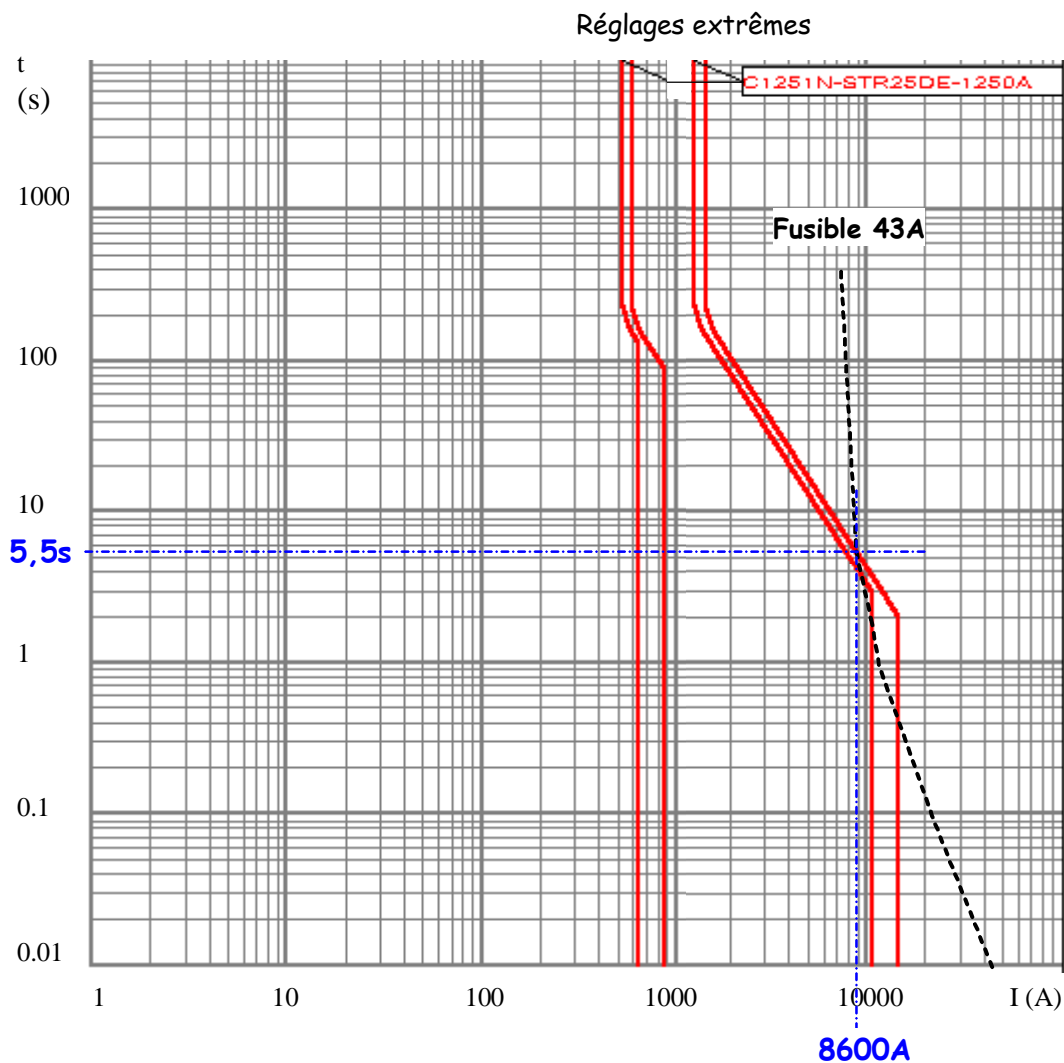
$I_0 = K_{I0} \times I_n$ (K_{I0} peut prendre une des 4 valeurs suivantes : 0,5 - 0,63 - 0,8 - 1),

$I_r = K_{Ir} \times I_0$ (K_{Ir} peut prendre une des 8 valeurs suivantes : 0,8 - 0,85 - 0,88 - 0,9 - 0,92 - 0,95 - 0,98 - 1).

Quelles valeurs de K_{I0} et K_{Ir} doit-on afficher sur **QG** pour autoriser le fonctionnement nominal du transformateur ?

<ul style="list-style-type: none"> I_n (courant assigné) = 1250A I_r doit être $\leq I_{2n} = 1126,5\text{A}$ $I_r = K_{Ir} \times I_0 = K_{Ir} \times K_{I0} \times I_n \leq I_{2n} \Rightarrow K_{Ir} \times K_{I0} \leq I_{2n} / I_n = 1126,5 / 1250 = 0,9$ 	
\Rightarrow Réglages possibles	$K_{Ir} = 0,9$ $K_{I0} = 1$

A.4.5. Sur la courbe de déclenchement de QG ci-après, on a établi la courbe de fusion (ramenée au secondaire) d'un fusible de protection du primaire du transformateur.



A.4.5.1. Le seuil de déclenchement I_m du déclencheur **instantané** de QG est tel que $I_m = k \times I_r$. Un sélecteur permet de régler k aux valeurs suivantes : 1,5 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 8 - 10. On admettra que le déclencheur **Long retard** est réglé à sa valeur maximale. Dans ces conditions, sur les courbes précédentes, déterminer la valeur de k du déclencheur **instantané** pour qu'une sélectivité totale soit assurée avec les fusibles HTA de la cellule de protection lors d'une surintensité en aval de ce disjoncteur. Justifier votre réponse.

Il y a intersection de la courbe de fusion du fusible et de la courbe de déclenchement la plus défavorable au point {8600A, 5.5s}. La sélectivité totale ne peut être obtenue qu'en l'absence d'intersection de ces 2 courbes.

⇒ Si le déclencheur instantané de QG agit pour une surintensité < 8600A, il y a sélectivité totale : il faut le régler à un seuil < 8600A.

$$I_m = k I_r \quad I_r = 1126,5 \text{ A} \quad I_m < 8600 \text{ A} \Rightarrow k = I_m / I_r < 8600 / 1126,5 = 7,63$$

⇒ k doit être réglé au maximum à 6

En cas de court-circuit triphasé en sortie de QG, pour que la sélectivité soit totale, il faut également qu'il n'y ait pas fusion des fusibles mais déclenchement de ce disjoncteur ; ceci implique que les courbes ne doivent pas présenter de point d'intersection pour une valeur $\leq I_{k3}$ calculé précédemment (21,97 kA). Ce qui est le cas. Pour $I = 21,97 \text{ kA}$, on voit sur les courbes que, quels que soient les réglages de ses déclencheurs, QG déclenchera avant la fusion des fusibles.

A.5. Schéma de liaison à la terre.

A.5.1. Le réseau est long et ne côtoie pas de bus de communication.

Quels dispositifs doit-on prévoir au minimum côté BT au niveau du poste en SLT « IT » ?

On doit prévoir :

- un contrôleur Permanent d'Isolément (CPI)
- un limiteur de surtension

(Ces dispositifs seront raccordés entre le neutre du transformateur et la terre puisque le neutre est accessible). *L'impédance raccordée en parallèle avec le limiteur de surtension n'est pas nécessaire (réseau long - pas de bus de communication à proximité).*

A.5.2. On retiendra le matériel minimum requis pour surveiller le réseau complet.

Ce réseau alimente de nombreux redresseurs et variateurs de vitesse. De ce fait, lors d'un défaut d'isolement en aval d'un de ces convertisseurs, la composante continue du courant de défaut pourrait « aveugler » certains dispositifs de contrôle.

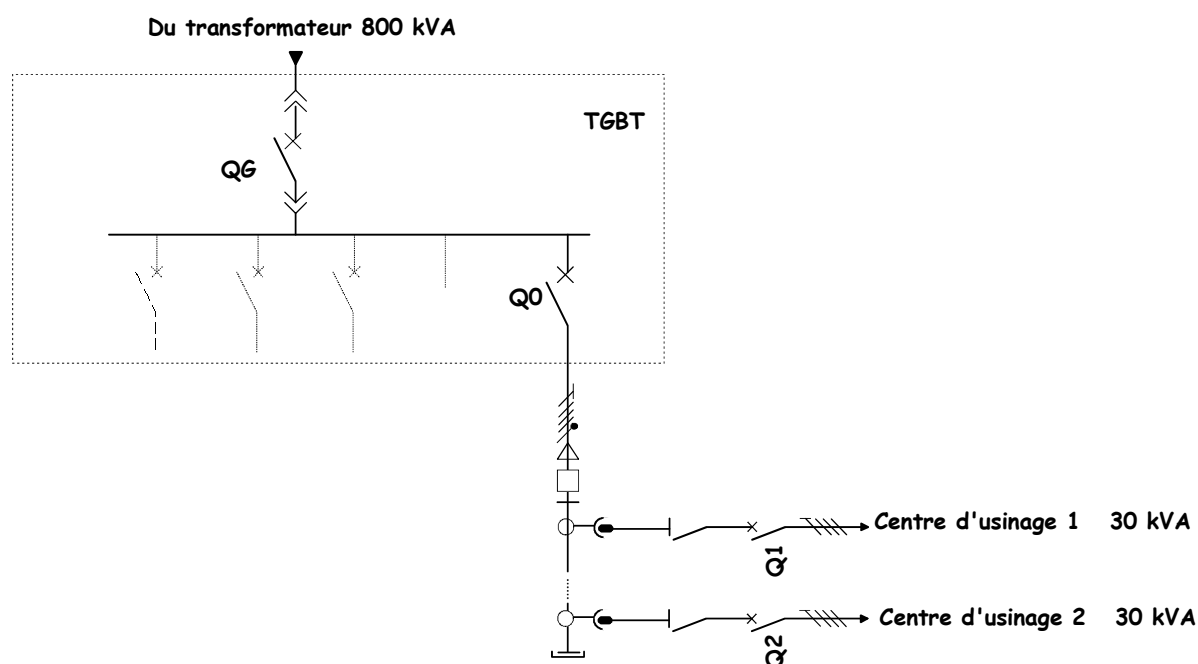
Donner les références des dispositifs retenus et préciser leurs fonctions (voir Annexes A9 et A10).

Appareillage	Fonctions
<ul style="list-style-type: none">▪ Limiteur de surtension Cardew C « 440V »	Limiter entre neutre et terre les surtensions issues des manœuvres d'appareils de coupure HT ou de coup de foudre indirect sur la HT et écouler à la terre les charges dues à ces surtensions.
<ul style="list-style-type: none">▪ CPI XM200	Mesurer et afficher le niveau d'isolement (résistance et capacité) sur un réseau qui comporte des récepteurs non linéaires. Signaler un premier défaut d'isolement.

A.6. Etude du départ du centre d'usinage.

L'entreprise compte 2 centres d'usinage identiques alimentés par des coffrets de dérivation équipés de disjoncteurs (Q1 et Q2) et connectés sur une canalisation préfabriquée. Un câble (type U1000 RO2V) protégé par le disjoncteur Q0 (NS 160N TM 160D) réglé à 160A la relie au TGBT.

Q1 et Q2 protègent respectivement les câbles de type H07 RN-F d'alimentation des centres d'usinage 1 et 2.

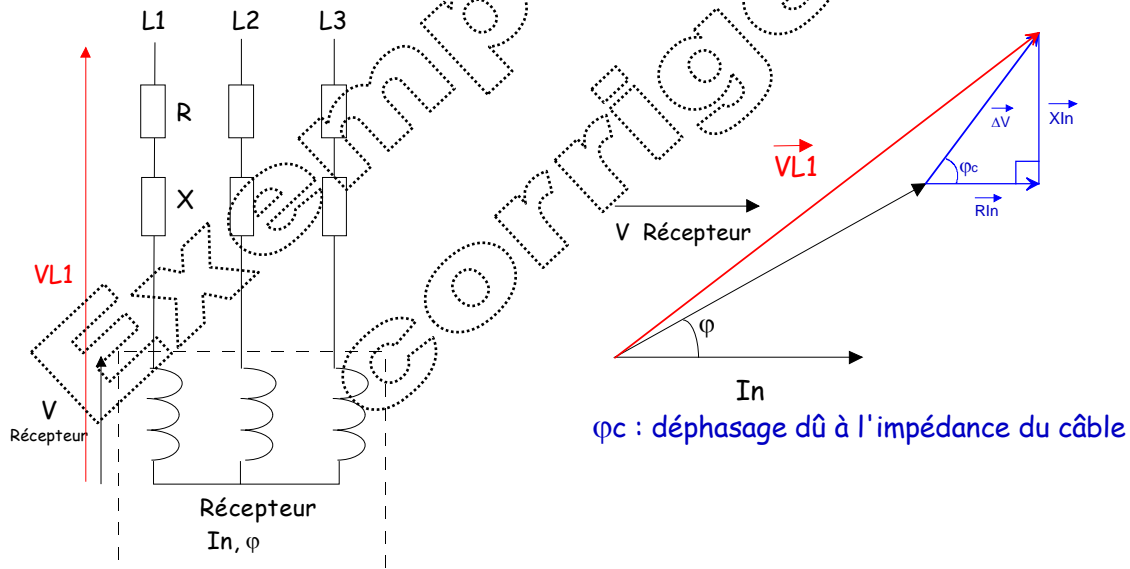


Pour calculer la chute de tension dans un câble, on applique généralement la relation approchée suivante :

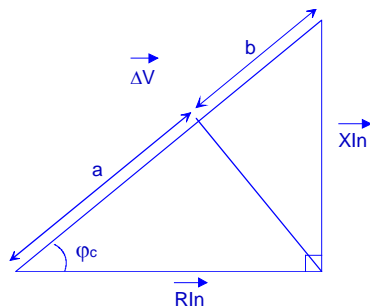
$$\Delta U \simeq \sqrt{3} I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

R, X : respectivement résistance et réactance du câble
 I_B : courant d'emploi
 φ : déphasage courant/tension du récepteur

A.6.1. Compléter ci-dessous le diagramme de Fresnel permettant de déduire la relation ci-dessus.



A.6.2. Démontrer cette relation et préciser l'hypothèse simplificatrice qui permet de l'obtenir.



$$\begin{aligned} |\Delta V| &= a + b \\ &= I_n (R \cos \varphi_c + X \sin \varphi_c) \end{aligned}$$

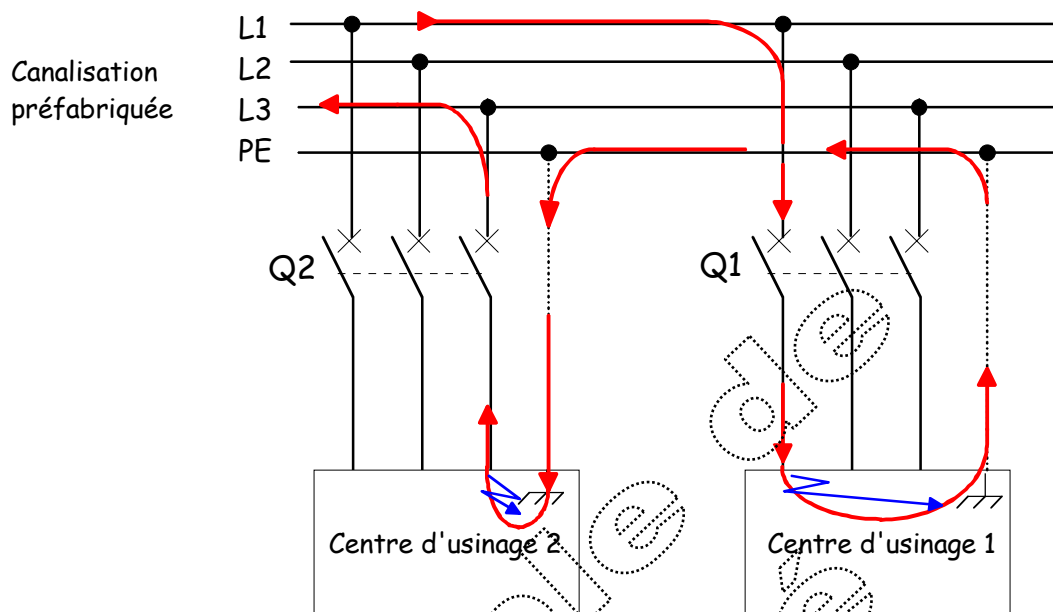
$$|\Delta U| = \sqrt{3} |\Delta V|$$

$$\Rightarrow |\Delta U| = \sqrt{3} I_B (R \cos \varphi_c + X \sin \varphi_c)$$

$$\begin{aligned} a &= R I_n \cos \varphi_c \\ b &= X I_n \sin \varphi_c \\ I_n &= I_B \end{aligned}$$

En comparant cette relation à la relation approchée généralement utilisée, on constate qu'elles sont identiques en faisant l'approximation $\varphi_c = \varphi$ (déphasage dû au câble = déphasage dû au récepteur)

A.6.3. La phase 1 entre en contact avec la masse du centre d'usinage 1 puis la phase 3 avec la masse du centre d'usinage 2.



Dans ces conditions, sur le schéma ci-dessus, surligner le parcours du courant de défaut. En régime IT, la méthode conventionnelle de calcul du guide U. T. E. C 15-100 permet de vérifier la protection des personnes contre les contacts indirects.

Pour qu'elle puisse être assurée, il faut, dans le cas présent, que la longueur des câbles d'alimentation de chacune des machines soit inférieure à la longueur maximale donnée par la relation :

$$L_{\max} = \frac{0,8 \sqrt{3} \cdot V \cdot S_{ph}}{2 \rho \cdot (1 + m) \cdot I_m}$$

V : tension simple,
 S_{ph} : section du conducteur de phase,
 S_{PE} : section du conducteur de protection électrique,
 $m = S_{ph} / S_{PE}$,
 ρ : résistivité du conducteur à la température normale,
 I_m : courant de fonctionnement du déclencheur magnétique

A.6.4. Quelles modifications pourrait-on apporter à cette installation pour assurer la protection des personnes si la longueur du départ considéré dépassait L_{\max} ?

Il faut ajuster les paramètres S_{ph} , m , I_m , ρ pour augmenter la longueur « L_{\max} » autorisée et obtenir $L_{\max} >$ à la longueur du câble.

On peut :

- augmenter S_{ph}
- augmenter S_{PE} (pour diminuer m)
- opter pour du câble cuivre si le choix initial était de l'aluminium (pour diminuer ρ)
- Si le courant d'appel le permet, diminuer le réglage du déclencheur magnétique du disjoncteur ou le remplacer par un disjoncteur de même calibre à seuil de déclenchement bas pour le magnétique (par exemple courbe B au lieu de C)
- mettre en place un dispositif différentiel (si les solutions précédentes s'avèrent par exemple trop coûteuses).

Il n'y a pas présence d'eau dans le local (\Rightarrow UL = 50V).

Dans ces conditions, la NFC 15 100 précise qu'en IT, lorsque le neutre n'est pas distribué, sur un réseau 400V -50Hz, le temps d'élimination du défaut doit être < **200ms**.

Le câble multipolaire est posé seul et partiellement sous conduit MRL.

On a calculé une section de **10 mm²** cuivre pour les conducteurs des câbles d'alimentation de chacun des centres d'usinage 1 et 2.

La longueur du câble issu de Q1 = 6m.

La réactance des câbles peut être négligée pour des sections < 50 mm².

Q1 est du type C60N 3 pôles protégés calibre 50 A-courbe C (déclenchement du magnétique entre 5 et 10 fois le calibre)

Le temps de fonctionnement du déclencheur magnétique du disjoncteur Q1 est < **50ms**.

La résistivité du cuivre prise en compte par la méthode conventionnelle est de $22,5 \times 10^{-3} \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$.

A.6.5. Etablir la référence complète du câble d'alimentation (multipolaire) d'un des centres d'usinage (SPh = SPE = 10 mm²)

H 07 RN-F 4 G 10

A.6.6. Vérifier que la protection des personnes contre les contacts indirects est assurée au niveau du centre d'usinage 1.

$$L_{\max} = \frac{0,8 \sqrt{3} V_0 S_{ph}}{2\rho (1+m) I_m}$$

$$I_m = 10 \times 50 = 500 \text{ A}$$

$$\rho = 22,5 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$m = S_{ph}/S_{PE} = 10/10 = 1$$

$$V_0 = 230V$$

\Rightarrow

$$L_{\max} = \frac{0,8 \sqrt{3} \times 230 \times 10}{2 \times 22,5 \times 10^{-3} (1 + 1) \times 500} = 71,1 \text{ m}$$

La protection des personnes contre les contacts indirects est assurée jusqu'à 71,1 m donc à fortiori pour 6m

A.6.7. Evaluer les niveaux de sélectivité entre les disjoncteurs QG, Q0 et Q1 (voir **Annexes A11** et **A12**).

QG : C1251N STR 25 DE

Q0 : NS 160N TM 160D

Q1 : C60N C 50

D'après l'annexe A11, la **limite de sélectivité** est de **30 kA** entre **Q0** et **QG**.

Comme Ik3 au niveau de QG = 21,97 kA , la **sélectivité est totale** entre QG et Q0.

D'après l'annexe A12, la **sélectivité est totale** entre **Q0** et **Q1**.

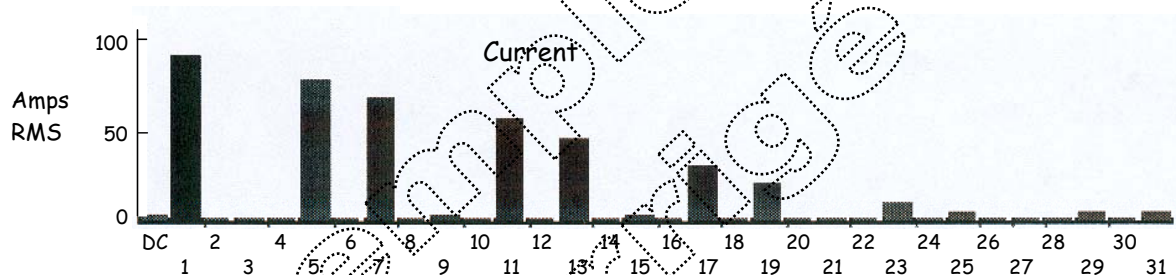
A.7. Analyse de la qualité de l'énergie

Au cours d'une journée normale de fabrication, un analyseur de réseau placé entre une phase et le neutre dans le TGBT en aval de Q0 (cf. sujet page A7) fait apparaître régulièrement les relevés suivants :

Frequency	49,99
Power	
kW	15,5
kVA	29
kvar	5,13
Phase	18° lead
Total PF	0,54
DPF	0,95

	Voltage	Current
RMS	233,3 V	125,4 A
Peak	328,2 V	392,16 A
DC Offset	-0,1 V	-1,71 A
Crest	1,41	3,14
THD Rms (%)	1,23	82,54
THD Fund (%)	1,23	146,18

(THD Fund : Taux de distorsion harmonique par rapport au fondamental).



A.7.1. Définir les grandeurs suivantes « Total PF », « DPF », « RMS », « TRMS » et « DC Offset ».

Total PF : facteur de puissance $PF = P/S$ (P et S puissances active et apparente totales)
DPF : facteur de déphasage $DPF = \cos \phi_1 = P_1/S_1$ (ϕ_1 : déphasage entre courant fondamental et tension fondamentale. P1 et S1 respectivement puissances active et apparente du fondamental).
RMS : valeur efficace
TRMS : valeur efficace vraie (inclus la composante continue du signal)
DC offset : composante continue

*Remarque : les tableaux sont ceux fournis par le logiciel FLUKEVIEW associé à l'analyseur FLUKE 41.
 La valeur RMS est en fait la valeur TRMS des signaux.*

A.7.2. Immédiatement en aval de Q0, on décide de mettre en place des dispositifs destinés à corriger les imperfections de l'énergie électrique absorbée par la canalisation préfabriquée. Au vu de ces relevés, préciser les actions correctrices à envisager. Quelles solutions technologiques vous semblent elles les mieux adaptées pour effectuer ces actions correctrices ?

DPF = 0,95

En aucun cas il n'est nécessaire de compenser par des batteries de condensateurs.

PF est faible (= 0,54) car il y a présence de nombreux harmoniques de courant à taux élevés (5, 7, 11 et 13 plus particulièrement). Du fait que la puissance d'utilisation n'est pas très élevée, on peut envisager de mettre en place un compensateur actif pour éliminer la totalité des harmoniques.

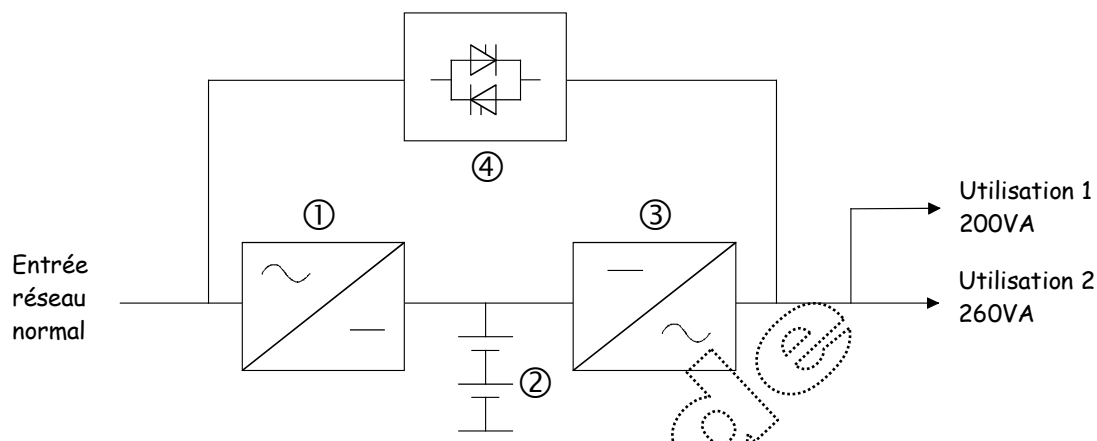
On peut, éventuellement, également mettre en place des filtres passifs accordés sur les harmoniques à taux élevés 5 et 7 par exemple et un compensateur actif de plus faible puissance pour éliminer les autres harmoniques. *(Solution plus délicate à mettre en œuvre que la précédente surtout en présence de batteries de condensateurs).*

La solution qui consiste à augmenter la puissance de court-circuit amont peut exiger le remplacement du transfo par un plus puissant et n'atténuera vraisemblablement pas les harmoniques dans les mêmes proportions que les autres solutions.

A.8. Sauvegarde de l'énergie de commande

Une ligne protégée, maintenue au moins 20 minutes, est nécessaire pour l'alimentation de la commande numérique. Elle est alimentée par une ASI (Alimentation Sans Interruption). Le dispositif ④ permet le transfert sans coupure de l'utilisation sur le réseau suite à une surcharge par exemple.

Le schéma de principe de l'alimentation est le suivant :

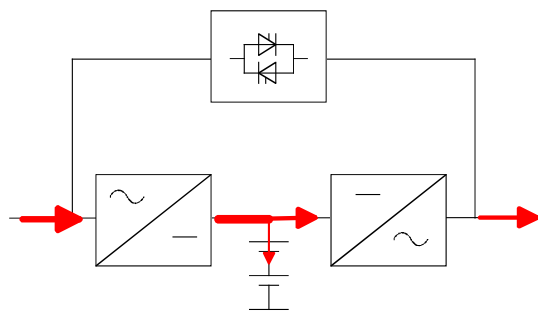


A.8.1. Donner la désignation et la fonction des éléments repérés de ① à ④ :

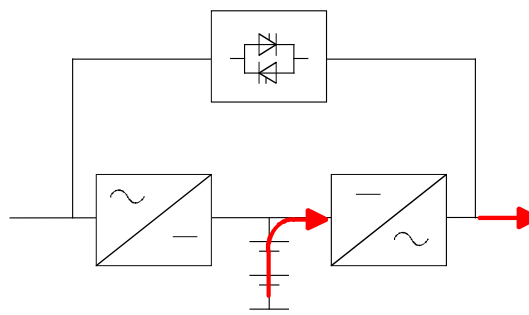
Repère	Désignation	Fonction
①	Redresseur	Prélever et redresser l'énergie du réseau pour charger ou maintenir la charge des batteries et alimenter l'onduleur
②	Batteries	Assurer une autonomie de fonctionnement en cas de coupure du réseau normal
③	Onduleur	Fournir une énergie en courant alternatif de qualité élevée (fréquence, tension ...dans des tolérances strictes)

A.8.2. Dessiner, sur les schémas ci-dessous, des flèches représentant le sens de passage des énergies

Mode normal (sans surcharge) :



Mode autonome :



Le facteur de simultanéité est égal à 1.

L'utilisation 1 est mise sous tension au moins une fois par jour et provoque un appel de courant de 3 In pendant 200 ms.

L'utilisation 2 ne provoque pas d'appel de courant.

Les indications du fabricant relatives à la capacité de surcharge de l'ASI sont les suivantes :

- 150% - 1 minute
- 125% - 10 minutes.

A.8.3. Calculer la puissance d'utilisation de l'ASI en régime permanent.

$S_{\text{utilisation}} = 200 + 260 = 460 \text{ VA}$ (valeur par excès)

A.8.4. Calculer la puissance d'appel à fournir par l'ASI.

$S_{\text{appel}} = 3 \times 200 + 260 = 860 \text{ VA}$

A.8.5. L'ASI doit admettre l'appel de courant. Quelle doit être dans ces conditions sa puissance nominale minimale ?

L'ASI est capable d'admettre une surcharge de 150% pendant une minute donc à fortiori pendant 200ms.

Sa puissance nominale doit être $\geq S_{\text{appel}} \times \frac{100}{150} = 860 \times \frac{100}{150} = 573 \text{ VA}$ pour admettre 860VA pendant 200ms.

A.8.6. En déduire et justifier la référence de « l'onduleur » (voir **Annexes A13**).

La référence **66418 (ESV8+)** est la mieux adaptée aux contraintes ci-dessus :

- autonomie > 20 minutes.
- $S_n = 780 \text{ VA} > 573 \text{ VA}$ nécessaires .
- $P_n = 490 \text{ W} > P_{\text{max utilisation}} = 460 \text{ W}$
($P_{\text{max utilisation}}$ est obtenue avec $FP = 1$, dans ce cas $P_{\text{utilisation}} = S_{\text{utilisation}} = 460 \text{ W}$).

PARTIE B

Etude de la motorisation axe X

B.1 Choix de la motorisation

Cahier des charges

Le mouvement d'axe X est réalisé par le déplacement de la table sous la poutre.

La masse de l'ensemble table et matière à usiner est de 1000 kg.

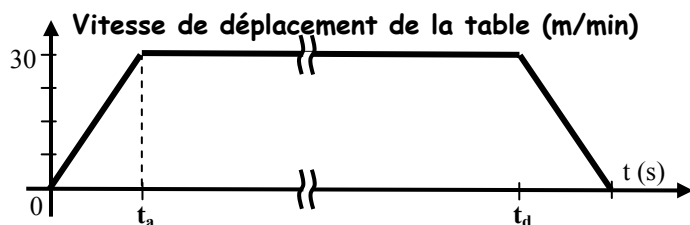
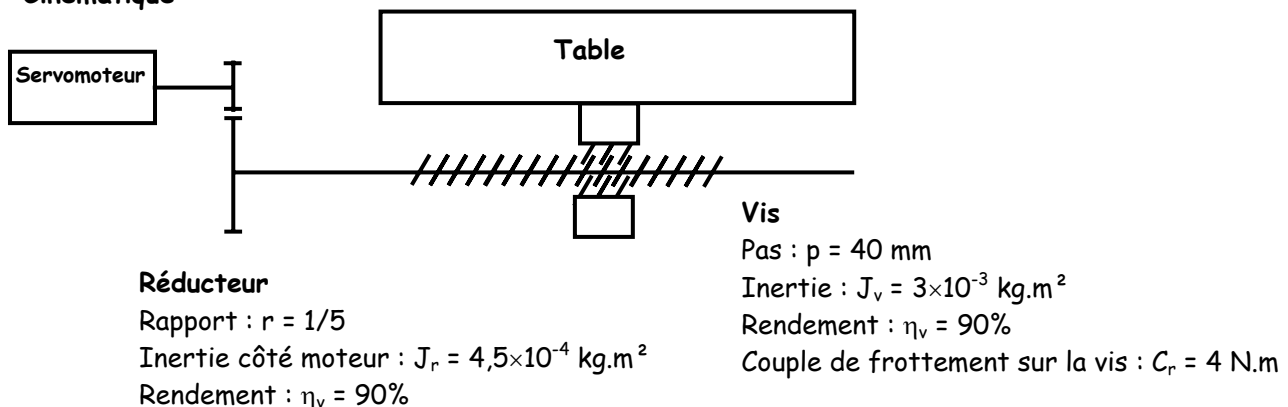
Le positionnement à vide (sans usinage) doit se faire à grande vitesse :

- Vitesse maximale de la table 30 m/min
- Accélération $1,5 \text{ m/s}^2$.

Le déplacement en charge se fait à vitesse réduite, la puissance pour l'usinage du plâtre est considérée comme faible devant l'inertie du système.

Le dimensionnement de la motorisation de l'axe X se fera sur le positionnement à vide.

Cinématique



B.1.1 Servomoteur

B.1.1.1 Indiquer le principe des moteurs synchrones autopilotés ?

Les moteurs synchrones autopilotés fonctionnent en contrôle de flux. Les champs sont maintenus perpendiculaires. Ces machines sont appelées moteur sans balai (Brushless) et apparentés à des machines à courants continus sans collecteur.

B.1.1.2 Donner les principales caractéristiques de ce type de moteur ?

- Couple élevé à haute vitesse.
- Grande raideur à l'arrêt.
- Accélérations importantes.
- Faible inertie.

B.1.2 Inertie

B.1.2.1 D'après le profil de vitesse de la table, déterminer t_a le temps nécessaire d'accélération pour atteindre la vitesse maximale.

$$\text{L'accélération } \Gamma = \frac{dv}{dt} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(V_{\text{MAX}} - 0)}{(t_a - 0)}$$

$$\text{Le temps d'accélération est donc } t_a = \frac{V_{\text{MAX}}}{\Gamma}$$

$$V_{\text{MAX}} = 30 \text{ m/mn} \quad V_{\text{MAX}} = \frac{30}{60} = 0,5 \text{ m/s}$$

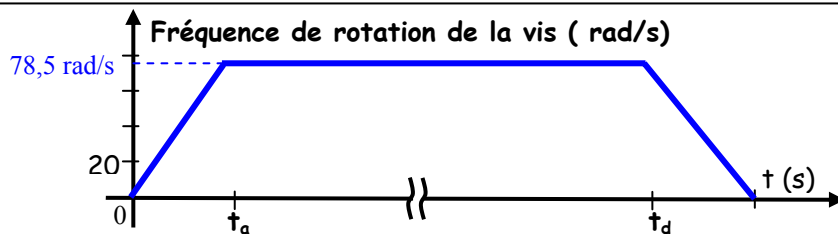
$$t_a = \frac{V_{\text{MAX}}}{\Gamma} = \frac{0,5}{1,5} = 0,33 \text{ s}$$

$$\Gamma = 1,5 \text{ m/s}^2$$

Le temps d'accélération $t_a = 0,33 \text{ s}$

B.1.2.2 Tracer le profil de la fréquence de rotation de la vis sans fin.

Déterminer la vitesse de rotation maximale de la vis.



Le pas de la vis est de 40 mm : c'est-à-dire 1 tour équivalant à une avancée de 40 mm.

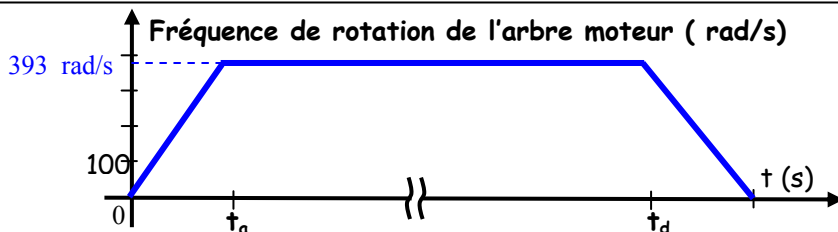
$$\frac{\text{Vitesse}}{\text{Pas}} = \text{nombre de tours/secondes}$$

$$\text{nombre de tours / secondes} \times 2 \cdot \pi = \text{vitesse de rotation en rad/s}$$

$$\omega_{\text{visMAX}} = \frac{V_{\text{MAX}}}{\text{PAS}} \times 2 \cdot \pi = \frac{0,5}{0,04} \times 2 \cdot \pi = 78,5 \quad \omega_{\text{visMAX}} = 78,5 \text{ rad/s}$$

B.1.2.3 Tracer le profil de la fréquence de rotation de l'arbre moteur.

Calculer la fréquence de rotation maximale du moteur.



Le rapport du réducteur est $1/5^{\text{ième}}$ donc $\omega = \omega_{\text{vis}} \times 5 = 78,5 \times 5 = 393 \text{ rad/s}$

La vitesse maximale de rotation du moteur $\omega = 393 \text{ rad/s}$

$$\frac{\omega \times 60}{2 \cdot \pi} = \frac{393 \times 60}{2 \cdot \pi} = 3750 \quad \text{La vitesse de rotation maximale } N = 3750 \text{ tr/mn}$$

B.1.2.4 Calculer l'inertie de la table ramenée sur l'axe de la vis.

Le pas de la vis est de 40 mm $J_1 = \text{masse} \times \left(\frac{\text{Pas}}{2 \cdot \pi} \right)^2 = 1000 \times \left(\frac{0,04}{2 \cdot \pi} \right)^2 = 0,0405$

$$J_1 = 4,05 \times 10^{-2} \text{ kg.m}^2$$

B.1.2.5 Calculer l'inertie de l'ensemble table+vis+réducteur ramenée sur l'arbre moteur.

Le rapport du réducteur est de 1/5^{ième}

$$J_2 = J_r + (J_v + J_1) \times r^2 = 0,45 \cdot 10^{-3} + (3 \cdot 10^{-3} + 40,5 \cdot 10^{-3}) \times \left(\frac{1}{5} \right)^2 = 2,19 \cdot 10^{-3}$$

$$J_2 = 2,19 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$

B.1.3 Dimensionnement

B.1.3.1 En tenant compte du rendement du réducteur, calculer, en régime établi, le couple résistant sur l'arbre moteur.

Le couple résistant sur la vis C_r est ramené sur l'arbre moteur.

$$C_{\text{rmoteur}} = C_r \times \frac{r}{\eta} = 4 \times \frac{5}{0,9} = 0,89 \text{ N.m}$$

$$C_{\text{rmoteur}} = 0,89 \text{ N.m}$$

B.1.3.2 On prendra comme inertie totale ramenée sur l'arbre moteur $J = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg.m}^2$ pour des rendements unitaires.

En négligeant l'inertie du moteur, en tenant compte des rendements de tous les éléments et d'après le principe fondamental de la dynamique appliqué à l'arbre moteur : déterminer le couple moteur pendant la phase d'accélération.

L'équation fondamentale de la dynamique nous donne :

$$C_\Gamma = J_{\text{TOTAL}} \times \frac{d\varpi}{dt} \times \eta_r \times \eta_v + C_{\text{rmoteur}} \quad J_{\text{TOTAL}} = J_2 + J_r$$

$$C_\Gamma = (J_{\text{TOTAL}}) \times \frac{d\varpi}{dt} \times \frac{1}{\eta_v} \times \frac{1}{\eta_r} + C_{\text{rmoteur}} = (2,2 \cdot 10^{-3}) \times \frac{(393 - 0)}{(0,33 - 0)} \times \frac{1}{0,9} \times \frac{1}{0,9} + 4 \times \frac{5}{0,9} = 4,1$$

Le couple d'accélération du moteur $C_\Gamma = 4,1 \text{ Nm}$

B.1.3.3 Choisir dans le tableau annexe B.1 le moteur adapté pour un bus continu de 200V.

La vitesse nominale : 3750 tr/min

Le couple nominal : 0,89 N.m

Le couple maximal : 4,2 N.m

Ces trois caractéristiques nous permettent de choisir le moteur BSN-63A-250.

B.1.3.4 En tenant compte de l'inertie du moteur, vérifier votre choix.

On rajoute l'inertie du moteur $J_{\text{Total}} = 2,2 \cdot 10^{-3} + 0,047 \cdot 10^{-3} = 2,247 \text{ kg.m}^2$

$$C_{\Gamma} = (J_{\text{TOTAL}}) \times \frac{d\omega}{dt} \times \frac{1}{\eta_v} \times \frac{1}{\eta_r} = (2,247 \cdot 10^{-3}) \times \frac{(393 - 0)}{(0,33 - 0)} \times \frac{1}{0,9} \times \frac{1}{0,9} + 0,89 = 4,19$$

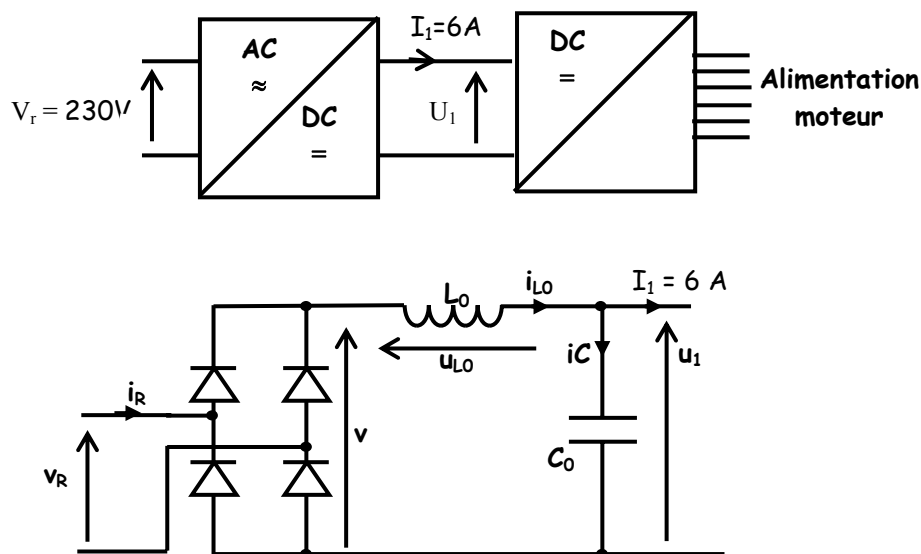
Le nouveau couple maximum à fournir est de 4,2 N.m et le moteur choisi convient.

L'inertie du moteur est négligeable devant celle du système.

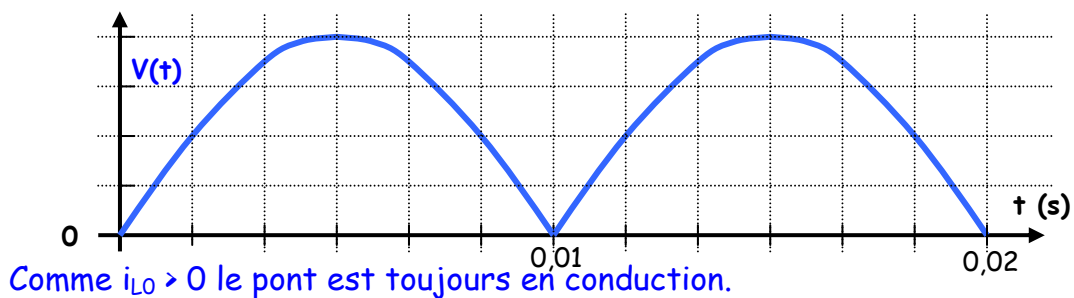
B.2 VARIATEUR

Structure interne du variateur.

B.2.1 Convertisseur AC/DC.



B.2.1.1 On suppose $i_{L0} > 0$. Tracer $v(t)$.



B.2.1.2 Quelle est la valeur moyenne de $u_{L0}(t)$? (justifier votre réponse).

En déduire la valeur moyenne de $u_i(t)$.

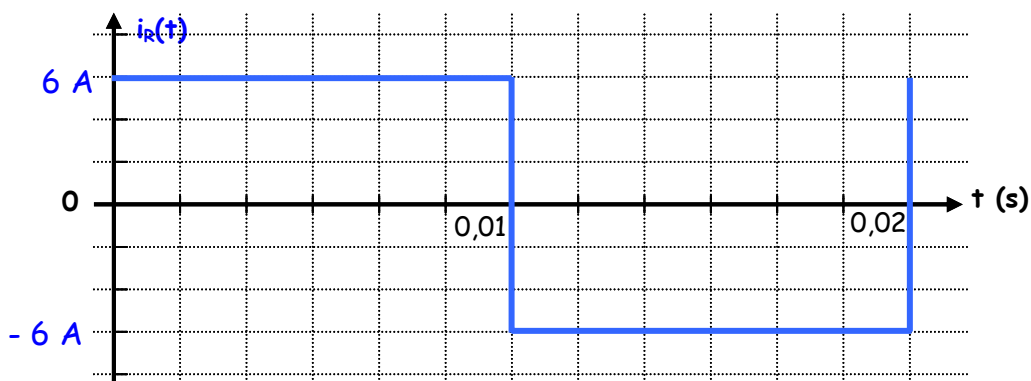
Aux bornes d'une inductance la valeur moyenne est toujours nulle. $u = L di/dt$ avec i constante i tendrait vers l'infini et donc l'inductance emmagasinerait une quantité d'énergie infinie ($w = \frac{1}{2} L i^2$),

$$\langle u_{L0} \rangle = 0 \quad \text{donc} \quad \langle u_i \rangle = \langle u_r \rangle = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \theta \cdot d\theta = \frac{V \cdot \sqrt{2}}{\pi} [-\cos \theta]_0^{\pi}$$

$$\langle u_i \rangle = \frac{2V\sqrt{2}}{\pi} = 207 \text{ Volts}$$

B.2.1.3 On suppose la composante alternative de i_{L0} négligeable devant sa valeur moyenne.

Tracer $i_R(t)$.



De 0 à π $i_R = i_{L0}$ de π à 2π $i_R = -i_{L0}$

Aussi $\langle i_{L0} \rangle = I_1 = 6 \text{ A}$ car dans le condensateur C_0 la valeur moyenne du courant est nulle.

B.2.1.4 Décomposer en série de Fourier la fonction $i_R(t)$.

La fonction $i_R(t)$ est impaire donc les termes en cosinus de la série sont nuls. De plus la valeur moyenne de i_R est nulle. Il ne reste que les termes en sinus de la série à calculer.

$$I_{Rn} = \frac{2}{T} \int_0^T i_R(t) \sin(n\omega t) \cdot dt \quad \text{La fonction étant impaire} \quad I_{Rn} = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i_R(t) \sin(n\omega t) \cdot dt$$

$$\text{Changement de variable } \theta = \omega \cdot t \Rightarrow d\theta = \omega \cdot dt$$

$$I_{Rn} = \frac{4\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{T}{2}} I_1 \sin(n\omega t) \cdot dt = \frac{2I_1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin(n\theta) \cdot d\theta = \frac{2I_1}{n\pi} [-\cos(n\theta)]_0^{\pi}$$

$$I_{Rn} = 0 \quad \text{pour } n \text{ paire}$$

$$I_{Rn} = \frac{4I_1}{n\pi} \quad \text{pour } n \text{ impaire}$$

$$i_R(t) = \sum_{p=0}^{\infty} \frac{4I_1}{(2p+1)\pi} \sin((2p+1)\omega t)$$

B.2.1.5 Comparer les harmoniques de $i_R(t)$ avec le taux d'harmoniques admis par la norme annexe B.2. Le variateur est-il compatible ? Proposer des solutions technologiques pour remédier à ce problème.

La norme nous donne la valeur max des courants harmoniques autorisés sur le réseau.

$$I_{R3\text{eff}} = \frac{4I_1}{3\sqrt{2} \cdot \pi} = \frac{4 \times 6}{3\sqrt{2}\pi} = 1,80 \text{ A} \leq 2,3 \quad I_{R5\text{eff}} = \frac{4I_1}{5\sqrt{2} \cdot \pi} = \frac{4 \times 6}{5\sqrt{2}\pi} = 1,08 \text{ A} \leq 1,14$$

$$I_{R7\text{eff}} = \frac{4I_1}{7\sqrt{2} \cdot \pi} = \frac{4 \times 6}{7\sqrt{2}\pi} = 0,772 \text{ A} \geq 0,77 \quad I_{R9\text{eff}} = \frac{4I_1}{9\sqrt{2} \cdot \pi} = \frac{4 \times 6}{9\sqrt{2}\pi} = 0,60 \text{ A} \geq 0,40$$

suite de la réponse B.2.1.5

On observe qu'à partir du rang 7 les courants harmoniques sont supérieurs aux niveaux requis par la norme. Ainsi l'appareil n'est pas compatible.

Une première méthode pour supprimer les harmoniques serait de les filtrer en amont du redresseur. Mais cette méthode est généralement coûteuse et encombrante pour cette gamme de puissance mise en jeu.

Une autre solution consiste à réaliser une absorption sinusoïdale du courant d'entrée grâce au convertisseur DC/DC en aval du redresseur.

B.2.2 convertisseur DC/DC

Pour gérer les harmoniques, un convertisseur continu/continu est utilisé dans la structure du variateur. Une commande adaptée permet l'absorption sinusoïdale.

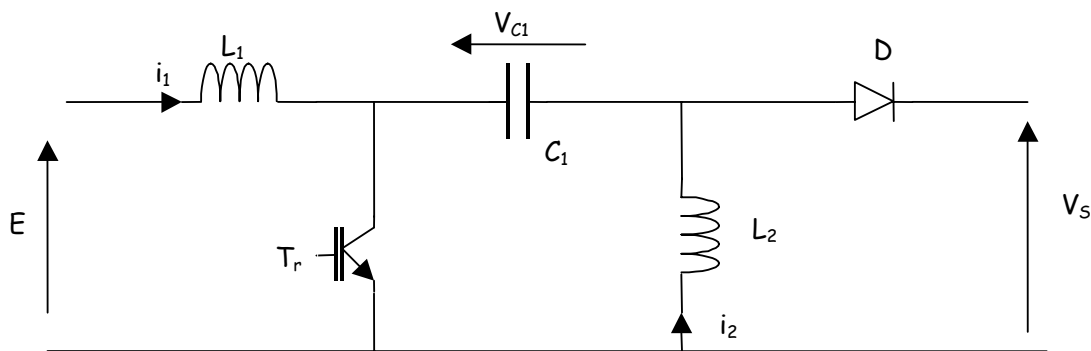


Schéma :

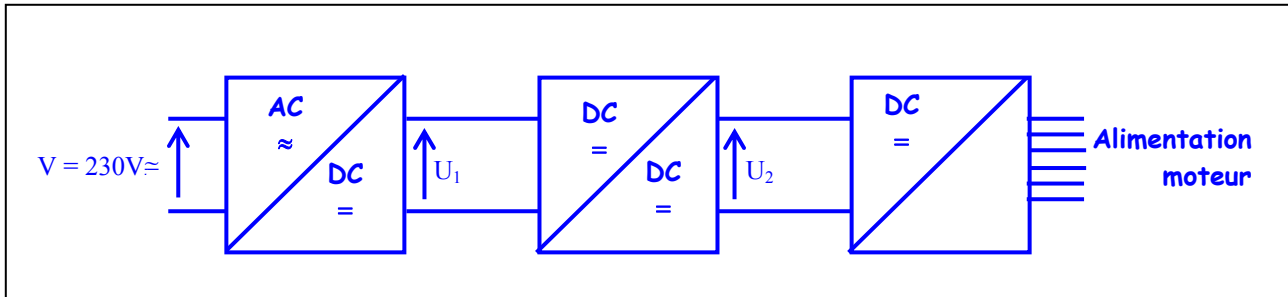
La structure du convertisseur permet la conversion d'une source de tension en une autre source de tension réglable.

On considère le convertisseur en conduction continue et la tension V_{C1} parfaitement lissée.

Il fonctionne en deux temps (accumulation d'énergie puis restitution) à une fréquence de 20 kHz.

- Premier temps : de 0 à αT le transistor T_r est saturé et la diode D reste bloquée.
- Deuxième temps : de αT à T Transistor T_r est bloqué et la diode D devient passante.

B.2.2.1 Dessiner la structure du variateur en insérant le convertisseur DC/DC.



B.2.2.2 Démontrer que $V_{C1} = E$.

La loi des mailles :

$$E = u_{L1} + v_C + u_{L2}$$

Les valeurs moyennes de u_{L1} et de u_{L2} sont nulles donc $\langle v_C \rangle = E$ et v_C est parfaitement lissée :

$$\langle v_C \rangle = V_C = E$$

B.2.2.3 Pour $t \in [0 ; \alpha T]$ donner l'équation qui relie $i_1(t)$ et E et celle qui relie $i_2(t)$ et V_{C1} . Préciser les transferts d'énergie réalisés.

Pour $t \in [0 ; \alpha T]$ le transistor est passant et la diode bloquée.

$$u_{L1} = E \Rightarrow E = L_1 \frac{di_1(t)}{dt}$$

$$u_{L2} = V_C = E \Rightarrow V_C = E = L_2 \frac{di_2(t)}{dt}$$

Dans la première phase :

- L_1 emmagasine de l'énergie fournie par la source E
- L_2 emmagasine de l'énergie fournie par le condensateur.

B.2.2.4 Pour $t \in [\alpha T ; T]$ donner l'équation qui relie $i_1(t)$ et v_s et celle qui relie $i_2(t)$ et v_s . Préciser les transferts d'énergie réalisés.

Pour $t \in [\alpha T ; (1 - \alpha)T]$ le transistor est bloqué et la diode passante.

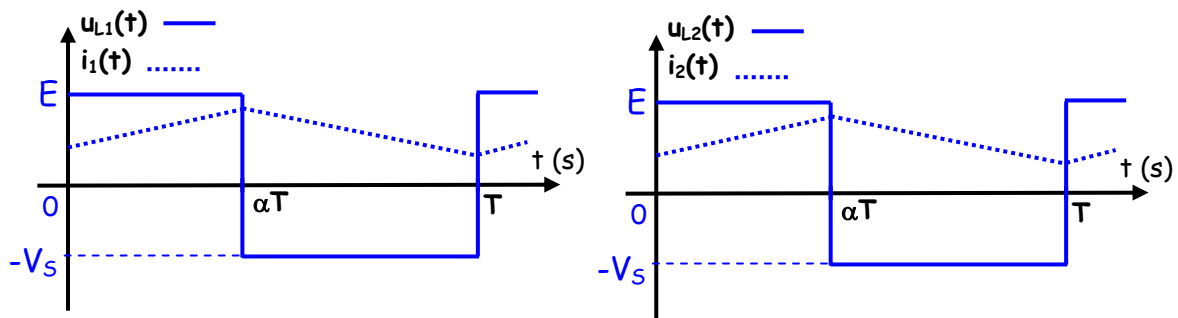
$$u_{L1} = -V_C - V_s + E \quad \text{Comme } V_C = E \Rightarrow -V_s = L_1 \frac{di_1(t)}{dt}$$

$$u_{L2} = -V_s \Rightarrow -V_s = L_2 \frac{di_2(t)}{dt}$$

Dans la deuxième phase :

- L_1 restitue son énergie dans le condensateur
- L_2 fournit son énergie à la sortie V_s .

B.2.2.5 Tracer pour $t \in [0 ; T]$ $u_{L1}(t)$, $u_{L2}(t)$, l'allure de $i_1(t)$ et celle de $i_2(t)$.



De 0 à αT la tension aux bornes des inductances est E donc les courants sont croissants de pentes constantes.

De αT à T La tension aux bornes des inductances est $-V_s$ donc les courants sont décroissants de pentes constantes

B.2.2.6 Que peut-on dire de la valeur moyenne de $u_{L2}(t)$?

En déduire la relation qui relie v_s à E en fonction de α .

Quelle est la propriété de ce convertisseur ?

La valeur moyenne de u_{L2} est nulle.

$$\overline{u_{L2}} = \frac{\alpha \cdot T \cdot E - (1-\alpha)T \cdot V_s}{T} = 0 \Rightarrow \alpha \cdot E - (1-\alpha) \cdot V_s = 0$$

$$(1-\alpha) \cdot V_s = \alpha \cdot E \Rightarrow V_s = \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot E$$

Ce hacheur a la particularité de pouvoir régler la tension de sortie $V_s > E$ où $V_s < E$.
Hacheur élévateur et abaisseur.

B.2.2.7 Déterminer la tension inverse maximale aux bornes de la diode D.

La diode bloquée, la tension inverse v_d est calculée avec la loi des mailles :

$$v_d = V_C + V_s = E + \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot E$$

Attention si α tend vers 1 la tension v_d tend vers ∞ .

$$v_d = \frac{1}{1-\alpha} \cdot E$$

La contrainte en tension sur la diode est donc très importante.

B.2.2.8 Déterminer pour quelle valeur de α l'ondulation de courant dans L_1 est maximum.

Pour $t \in [0 ; \alpha T]$

$$E = L_1 \frac{di_1(t)}{dt} \Rightarrow i_1(t) = I_{10} + \frac{E}{L_1} t \quad I_{10} \text{ valeur de } i_1(0)$$

Pour $t \in [\alpha T ; T]$

$$-V_s = \frac{-\alpha}{1-\alpha} \cdot E = L_1 \frac{di_1(t)}{dt} \Rightarrow i_1(t) = I_{11} + \frac{-\alpha \cdot E}{(1-\alpha) \cdot L_1} \cdot (t - \alpha T) \quad I_{11} \text{ valeur de } i_1(\alpha \cdot T)$$

Pour $t = \alpha T$ les deux équations sont égales

$$I_{11} = I_{10} + \frac{E}{L_1} \alpha T \Rightarrow \Delta I_1 = I_{11} - I_{10} = \frac{ET}{L_1} \cdot \alpha \quad \text{L'ondulation de courant est}$$

proportionnelle à α .

Au plus α tend vers 1 au plus l'ondulation sera grande.

B.2.2.9 Comparer les résultats des mesures obtenues avec ce type de variateur (annexe B2) et les taux d'harmoniques autorisés par la norme.

Harmonique 2 $I_2 = 0,4 \text{ A} < 1,08 \text{ A}$

Harmonique 3 $I_3 = 0,150 \text{ A} < 2,30 \text{ A}$

Harmonique 4 $I_4 = 0,15 \text{ A} < 0,43 \text{ A}$

Harmonique 5 $I_5 = 0,150 \text{ A} < 1,14 \text{ A}$

Harmonique 6 $I_6 = 0,08 \text{ A} < 0,3 \text{ A}$

Harmonique 7 $I_7 = 10 \text{ mA} < 0,77 \text{ A}$

Les courants harmoniques absorbés par le variateur sont inférieurs aux taux imposés par la norme. L'absorption sinusoïdale est satisfaisante.

B.2.3 Dimensionnement des inductances.

Pour toute cette partie on fixe la valeur de α à 0,6, $v_s = 300 \text{ V}$, la valeur moyenne de i_1 est égale à 6 A, $E = V_{C1}$ et on considère le transistor et la diode parfaits.

B.2.3.1 Déterminer la valeur de L_1 pour que Δi_1 ne dépasse pas 5% de i_1 .

Par analogie, donner la valeur de L_2 .

Pour $t \in [0 ; \alpha T]$ $L_1 \frac{d(i_1)}{dt} = E \quad i_1(t) = \frac{E}{L_1} t + I_{10}$

Pour $t \in [\alpha T ; T]$ $L_1 \frac{d(i_1)}{dt} = -V_s = \frac{-\alpha}{1-\alpha} E \quad i_1(t) = \frac{-\alpha E}{(1-\alpha)L_1} (t - \alpha T) + I_{20}$

Pour $t = \alpha T$ $i_1(\alpha T) = \frac{E}{L_1} \alpha T + I_{10} = I_{20}$

$I_{20} - I_{10} = \Delta I_1 = \frac{E}{L_1} \alpha T \quad \Delta I_1 \leq (5\% I_1)$

$$\frac{E}{L_1} \alpha T \leq (5\% I_1) \quad L_1 \geq \frac{E \alpha T}{(5\% I_1)} \quad L_1 \geq \frac{207 \times 0,6 \times \frac{1}{20 \cdot 10^3}}{\frac{5}{100} 6} \quad L_1 \geq 20,7 \text{ mH}$$

D'après la question 2.2.4 on s'aperçoit que $\Delta i_1(t) = \Delta i_2(t)$ donc on choisira $L_2 = L_1$.

B.2.3.2 L_1 est bobinée sur un noyau ferromagnétique de perméabilité relative $\mu_r = 1500$, de longueur 20 cm et de diamètre 4 cm. ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$)

Calcul du nombre de spires nécessaires pour obtenir la valeur de L_1 désirée.

Dans le noyau $B = \mu_r \mu_0 H$

Dans la bobine on considère que $H = \frac{NI}{l}$ et $\phi = NBS = LI$

$$B = \mu_r \mu_0 \frac{NI}{l} \Rightarrow N(\mu_r \mu_0 \frac{NI}{l})S = LI \Rightarrow N = \sqrt{\frac{LI}{\mu_0 \mu_r S}} = \sqrt{\frac{21 \cdot 10^{-3} \times 0,2}{4\pi \cdot 10^{-7} \times 1500 \times \pi \cdot 0,02^2}}$$

$$N = 42$$

Une bobine de 42 spires sera nécessaire.

PARTIE C
AUTOMATISATION - SÉCURITÉ

Sur ce centre d'usinage, on respecte scrupuleusement les normes de sécurité. Tous contacts d'arrêts d'urgence, de portes ou de capots sont gérés par un relais de sécurité ayant la particularité d'assurer les fonctions d'autocontrôle et de redondance.

C.1. Approche technologique.

La redondance et l'autocontrôle.

C.1.1 : Donner une définition simplifiée de la redondance dans ce cas précis :

C'est pallier la défaillance d'un relais par le bon fonctionnement d'un autre dans l'hypothèse où il n'y a pas de défaillance simultanée.

C.1.2 : Pourquoi associer la fonction d'autocontrôle à la fonction de redondance ?

*Lors d'une défaillance d'un des relais de puissance ou contacteurs (collage par exemple), celle-ci n'est pas détectée automatiquement à son apparition.
Le circuit de commande peut être réarmé alors qu'un relais est défectueux.*

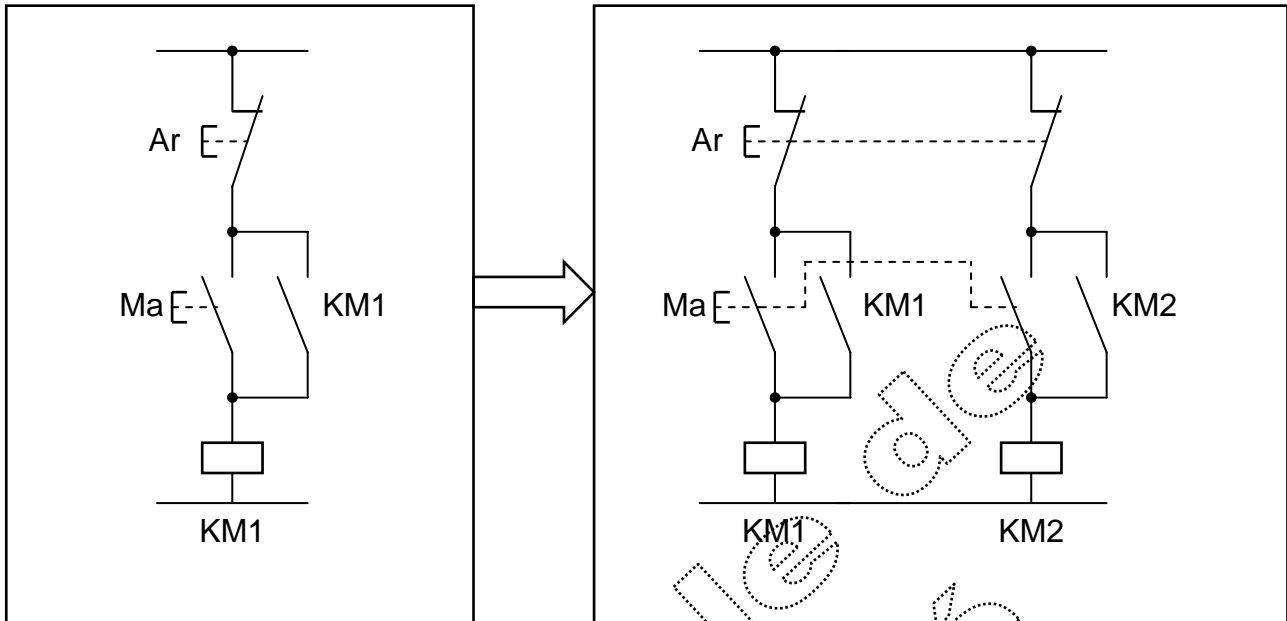
C.1.3 : Le relais de sécurité utilisé, permet la protection des personnes et des biens. Les niveaux de risques estimés de la machine, rares mais inévitables, sont suffisamment importants pour provoquer des lésions graves. Dans quelle catégorie de risque peut-on situer cette machine ?

*Lésions graves : S2
Fréquence du phénomène dangereux : rare : F1
Risques inévitables : P2
Donc catégorie 1 ou 2 (2 est donc préférable)*

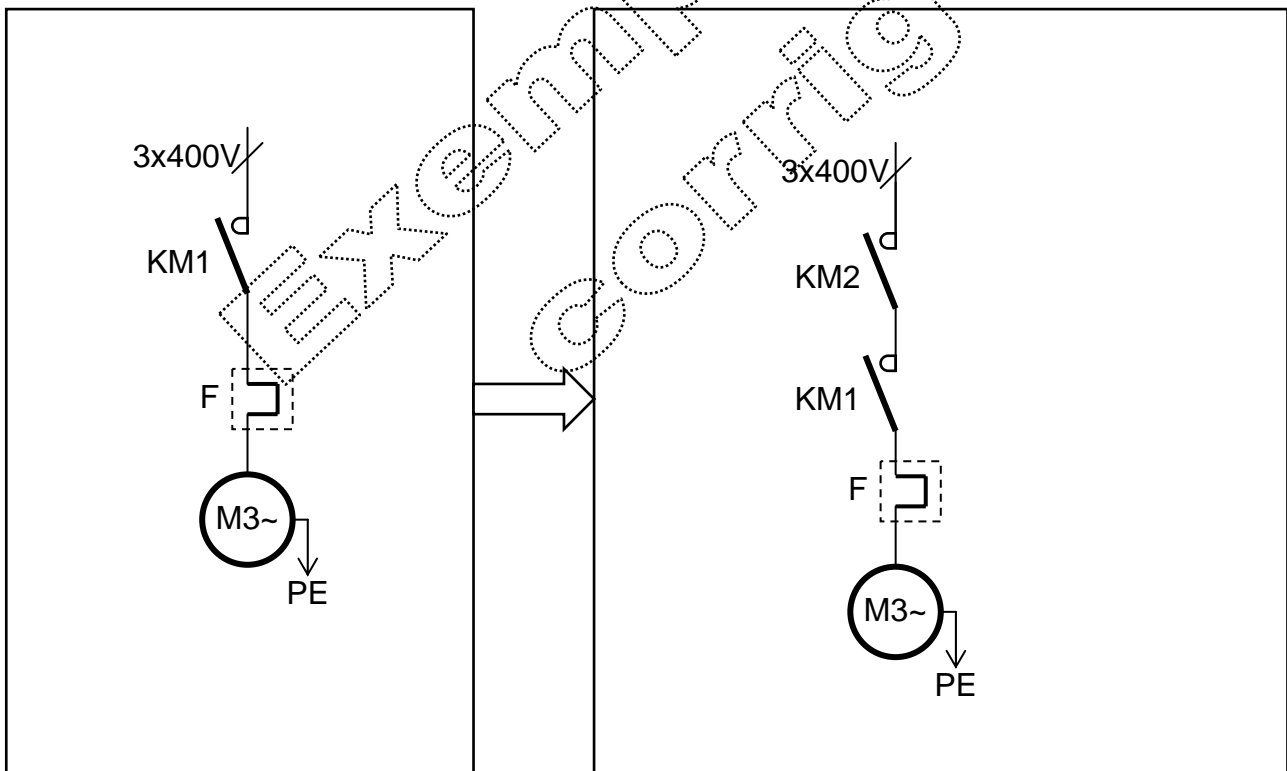
C.2. Approche fonctionnelle.

C.2.1. : Modifier les schémas simplifiés des circuits de commande et de puissance d'un moteur asynchrone triphasé à démarrage direct, permettant d'avoir un câblage « **deux canaux** » afin d'assurer la fonction de redondance pour une machine de catégorie de risques 3 et 4, sans module de sécurité, avec des constituants à contacts liés.

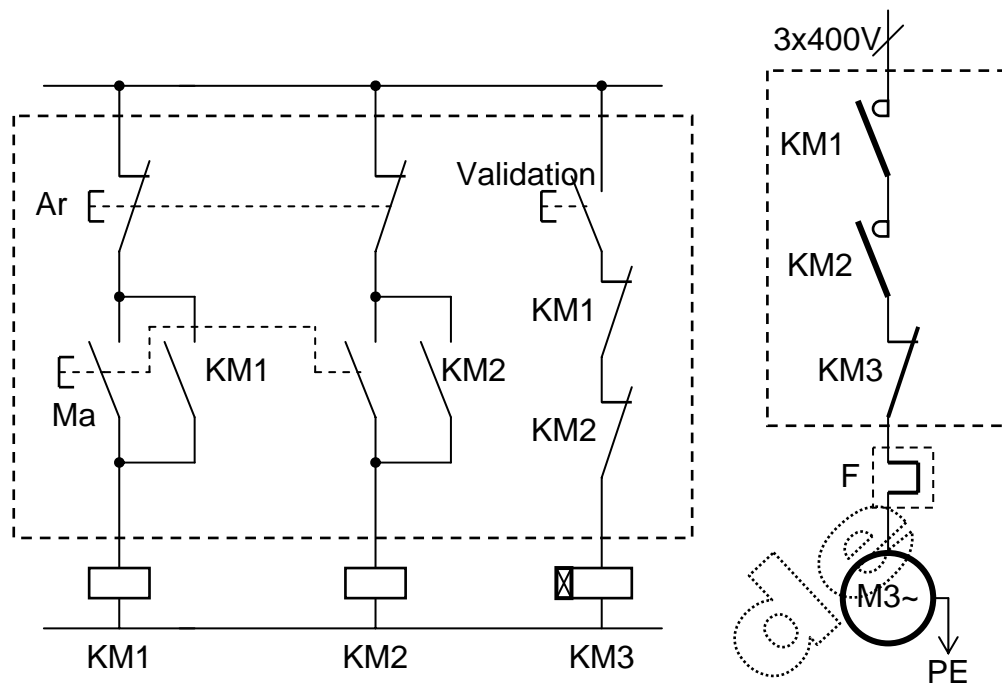
C.2.1.1. Schéma de commande :



C.2.1.2. Schéma de puissance :



C.2.2 : Modifier les schémas simplifiés de commande et de puissance de la question précédente, afin d'assurer les deux fonctions, redondance et autocontrôle.



C.3. Approche structurale.

C.3.1 : Sur le schéma de la machine (page 4), quels sont les contacts ou appareils de commande qui permettent d'assurer une partie de la fonction autocontrôle ?

Bouton tournant CL1, contacts à ouverture de KA1 et de KT.

C.3.2 : Compléter le schéma développé du relais de sécurité (page 5) contrôlant les arrêts d'urgence et les capteurs de position de la machine :

Schéma développé des arrêts d'urgence et des capteurs de position :

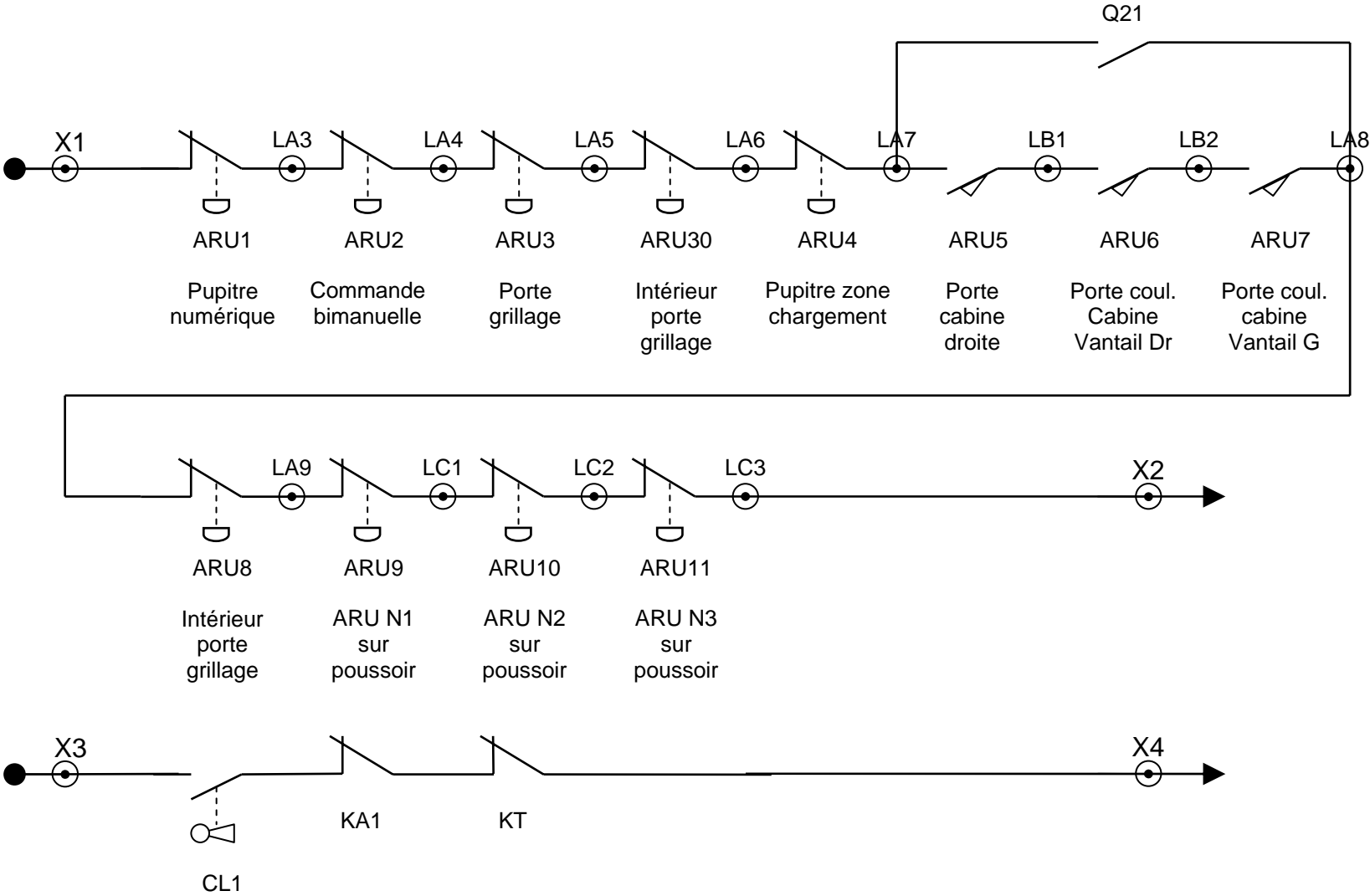
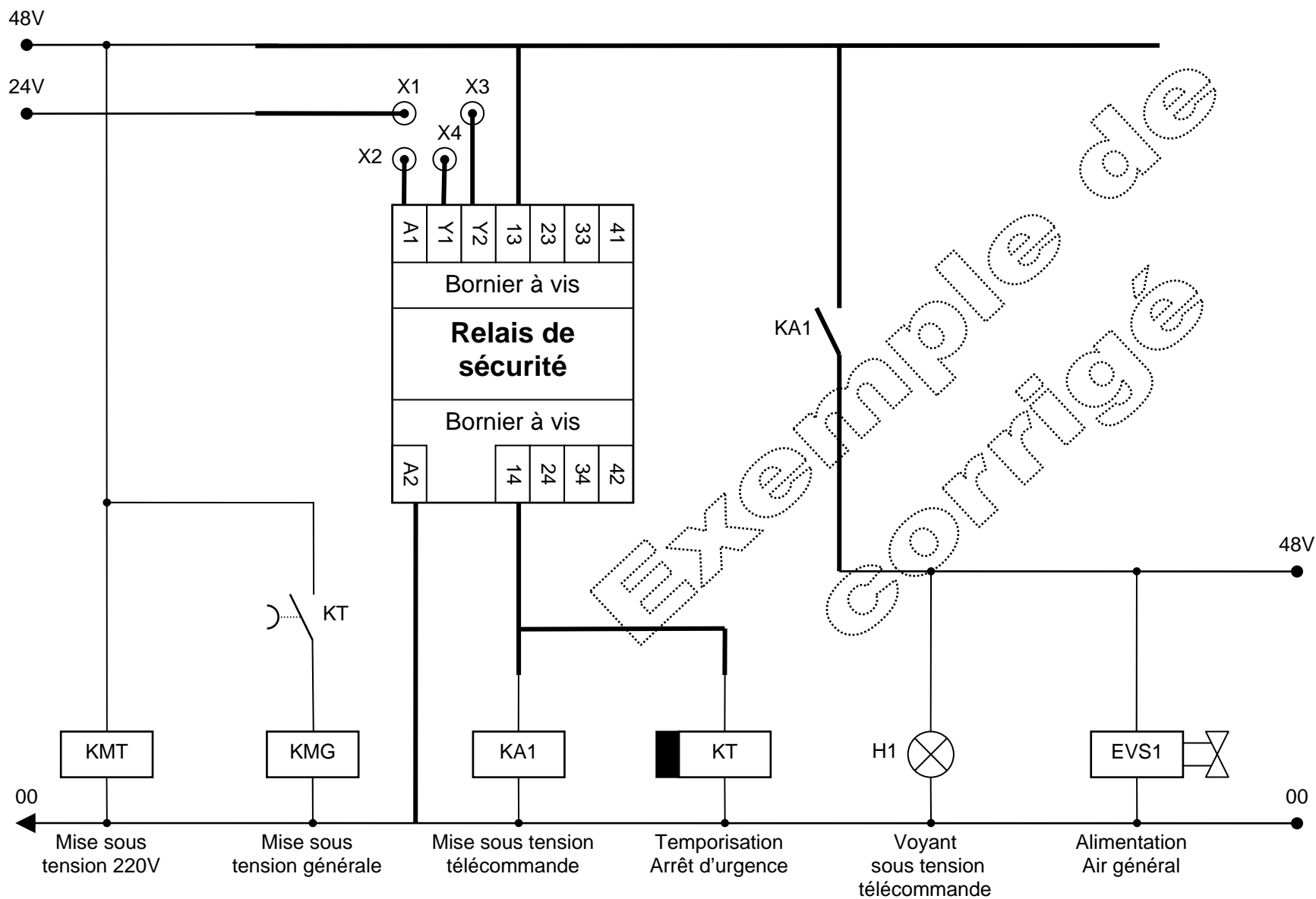


Schéma développé du relais de sécurité : A compléter



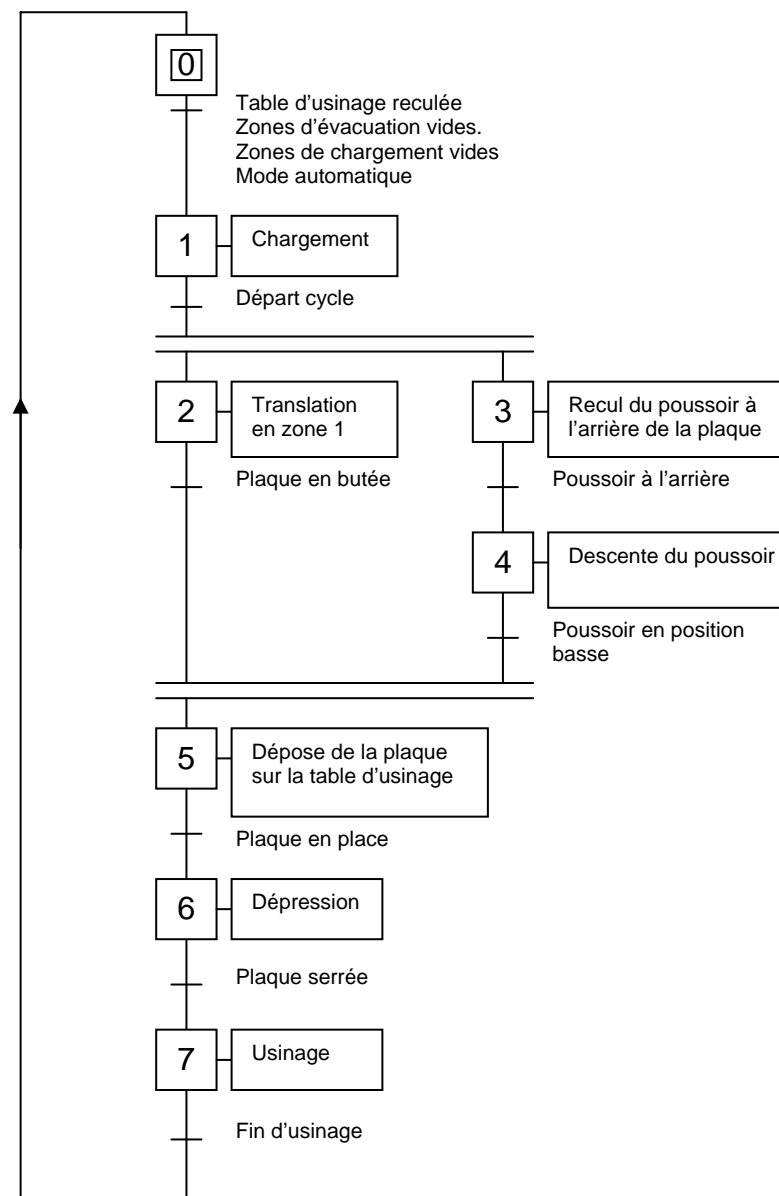
C.4. Approche séquentielle.

Cahier des charges du centre d'usinage.

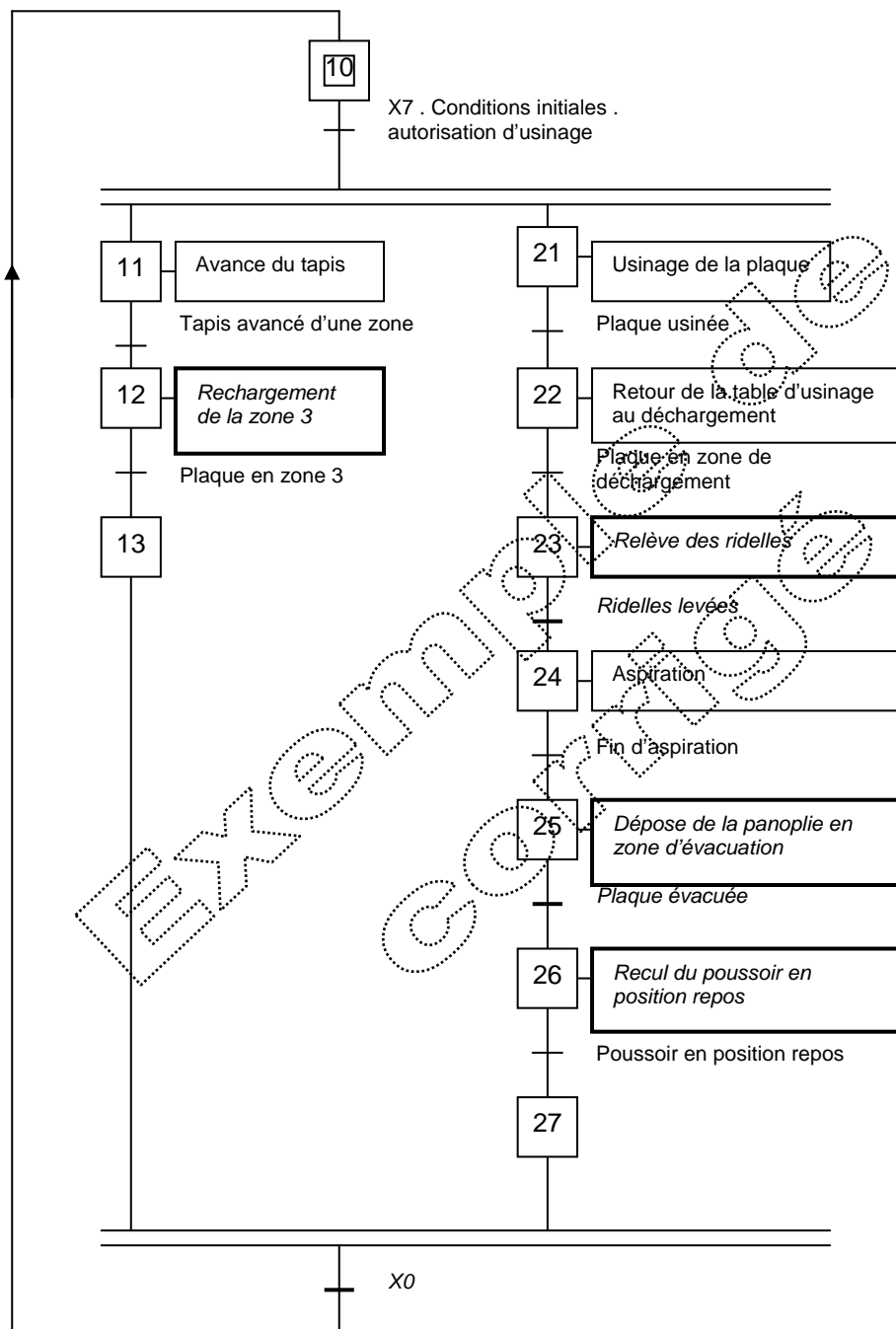
Description du cycle de fonctionnement de chargement/déchargement :

- 1- Etat repos de l'ensemble.
 - Table d'usinage en position reculée coté opérateur, revêtue d'un panneau en aggloméré, déchargée de toute plaque usinée ou à usiner.
 - Les 3 zones d'évacuation sont libres de toute pièce ou chute.
 - Les 3 zones de chargement de la table à rouleaux sont vides. Les butées verticales définissant la limite d'avancée de la plaque en zone 1 sont relevées.
- 2- Cycle de chargement.
 - L'opérateur place 1,2 ou 3 plaques à usiner respectivement dans les zones 1,2 ou 3 de la table à rouleaux.
 - Il valide par action sur un bouton poussoir « départ cycle » le chargement.
 - Une cellule de détection des plaques placée à l'avant de la zone 1 déclenche :
 - La translation de la plaque en zone 1 jusqu'à son arrivée contre les butées de référence ;
 - Le recul simultané du poussoir à l'arrière de la plaque 1 ainsi que sa descente en position basse lorsque celle-ci est arrivée contre les butées verticales.
 - Le poussoir translate la plaque depuis la zone 1 jusqu'à la table d'usinage.
 - Les butées horizontales avancent pour caler la plaque en longueur.
 - La dépression est activée et donc la plaque est serrée sur le martyr.
 - La table de travail part en zone d'usinage.
- 3- Pendant l'usinage.
 - La plaque située en zone 2 avance jusqu'en zone 1.
 - La plaque n°3 avance jusqu'en zone 2.
 - L'opérateur peut recharger la zone 3.
- 4- Lorsque la plaque est usinée :
 - La table d'usinage revient en position déchargement.
 - Les ridelles d'extrémité de table se relèvent.
 - L'aspiration est commutée dans la poutre de balayage sur le poussoir en attente en position basse.
 - Le poussoir évacue la panoplie usinée sur la première zone d'évacuation.
 - Il recule en position repos.
- 5- Le cycle de chargement commence.
 - Si la plaque est présentée en zone 1, en attente contre les butées.
 - En même temps, l'opérateur placé en zone de déchargement à l'extrémité de la table n°3 peut activer à sa demande l'avance des panoplies usinées et stockées sur cette table, par action sur une pédale au sol.
- 6- modes de fonctionnement :
 - Mode manuel : pour le chargement matière première, le chargement de l'outil et le test tourelles.
 - Mode automatique : pour la production.

Grafcet général



C.4.1 : A partir du cahier des charges, on demande de compléter les 4 actions et les 3 transitions manquantes du grafcet du point de vue du système pour une séquence d'usinage.



PARTIE D

AUTOMATISATION PNEUMATIQUE

D.1. Le fluide pneumatique

A propos de l'humidité de l'air

L'humidité est caractérisée par la masse d'eau contenue dans une masse d'air ou de gaz.

La teneur en eau est égale au rapport entre le volume de la vapeur d'eau et le volume total de gaz.

La quantité d'humidité s'évalue en gramme par m³.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de quantité d'humidité saturante (100% d'humidité relative) en fonction d'une température particulière dite « point de rosée ».

Le point de rosée est la température à laquelle il faut refroidir l'air humide pour atteindre le seuil de saturation et à partir de laquelle s'amorce le début de la condensation.

C'est à cette température que la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air devient saturante.

Lorsque l'air se refroidit, la quantité maximale de vapeur d'eau qu'il peut contenir diminue.

Au dessous du point de rosée, une partie de cette vapeur commence à se condenser.

Point de rosée en °C	-20	-10	0	5	10	15	20	30	50	70	90	100
Vapeur d'eau en g/m ³	0,88	2,16	4,87	6,79	9,36	12,74	17,14	30,08	82,26	196,21	471,93	588,21

Tableau D1

Pour information

Un gaz parfait à température constante à son volume V inversement proportionnel à sa pression absolue P (Compression isothermique.)

Un gaz parfait à pression constante a son volume V proportionnel à sa température absolue T.

Un gaz parfait à volume constant a sa pression P proportionnel à sa température absolue T.

Nous vous rappelons l'équation d'état des gaz parfaits :

$$P.V = n.R.T, \text{ on prend } n.R = 8,317 \text{ J/K.mol.}$$

Hypothèses de travail

Le réservoir de stockage d'air du compresseur est considéré comme indéformable.

Les températures données sont considérées stables (constantes).

Données techniques

Le dossier technique du système étudié indique :

Alimentation air comprimé AC

- Pression du réseau = 7 bars \pm 1 bar ;
- Diamètre d'arrivée = 10 mm utile ;
- Débit d'air asséché 500 m³/h.

Travail demandé

D.1.1. Sachant que l'air aspiré par le compresseur a un **% d'humidité relative de 60%** et une **température moyenne de 20°C**, calculer, en vous aidant du tableau D1, la quantité d'eau contenue dans un m³ d'air.

$$\text{Quantité d'eau dans 1 m}^3 \text{ d'air} = 60\% \times 17,14 = 10,284 \text{ g}$$

D.1.2. Calculer le volume d'air aspiré par le compresseur, **en une heure**, pour assurer le débit demandé (500 m³/h à 7 bars).

$$\text{Volume d'air aspiré} = 500 \times 7 = 3500 \text{ m}^3$$

D.1.3. Calculer la quantité de vapeur d'eau contenue dans **ce volume** d'air aspiré.

$$\begin{aligned} \text{Quantité de vapeur d'eau totale} &= 3500 \times 10,284 = . \\ &= 35994 \text{ g} = 35,994 \text{ kg}. \end{aligned}$$

D.1.4. Si on refroidit le **volume d'air comprimé précédent à 5°C**, calculer la nouvelle quantité d'eau contenue dans ce volume d'air comprimé.

$$\text{Quantité d'eau à 5°C} = 6,79 \times 0,6 \times 500 = 2,037 \text{ kg}$$

D.1.5. Calculer la différence de quantité de vapeur d'eau saturante entre les deux températures (à 20°C et à 5°C).

$$\begin{aligned} \text{Quantité de vapeur d'eau saturante} &= \\ 35,994 - 2,037 &= 33,95 \text{ kg} \end{aligned}$$

D.1.6. Sachant que pour assurer la production normale d'air comprimé pour la machine, le compresseur fonctionne en moyenne 4 heures par jour. L'air est absorbé à 20°C, puis refroidit à 5°C, calculer la quantité d'eau à évacuer par jour.

Quantité d'eau à évacuer/jour = 4 x 32,6 = 130,4kg ≈ 130,4l.

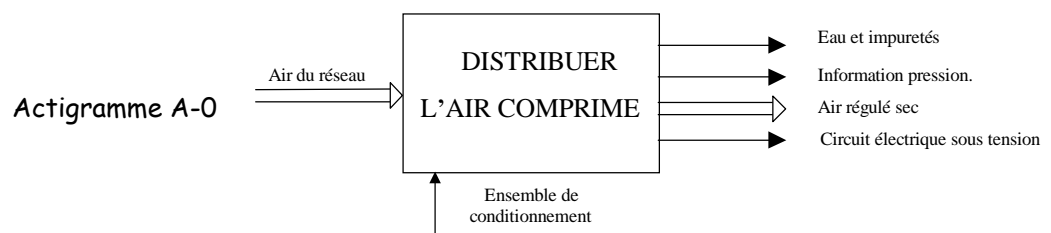
D.1.7. Pour obtenir de l'air comprimé asséché, il est donc nécessaire d'utiliser des refroidisseurs et des sécheurs d'air. Où doit-on placer ces appareils ?

Refroidisseur : Le refroidisseur est à placer entre le compresseur et le réservoir.

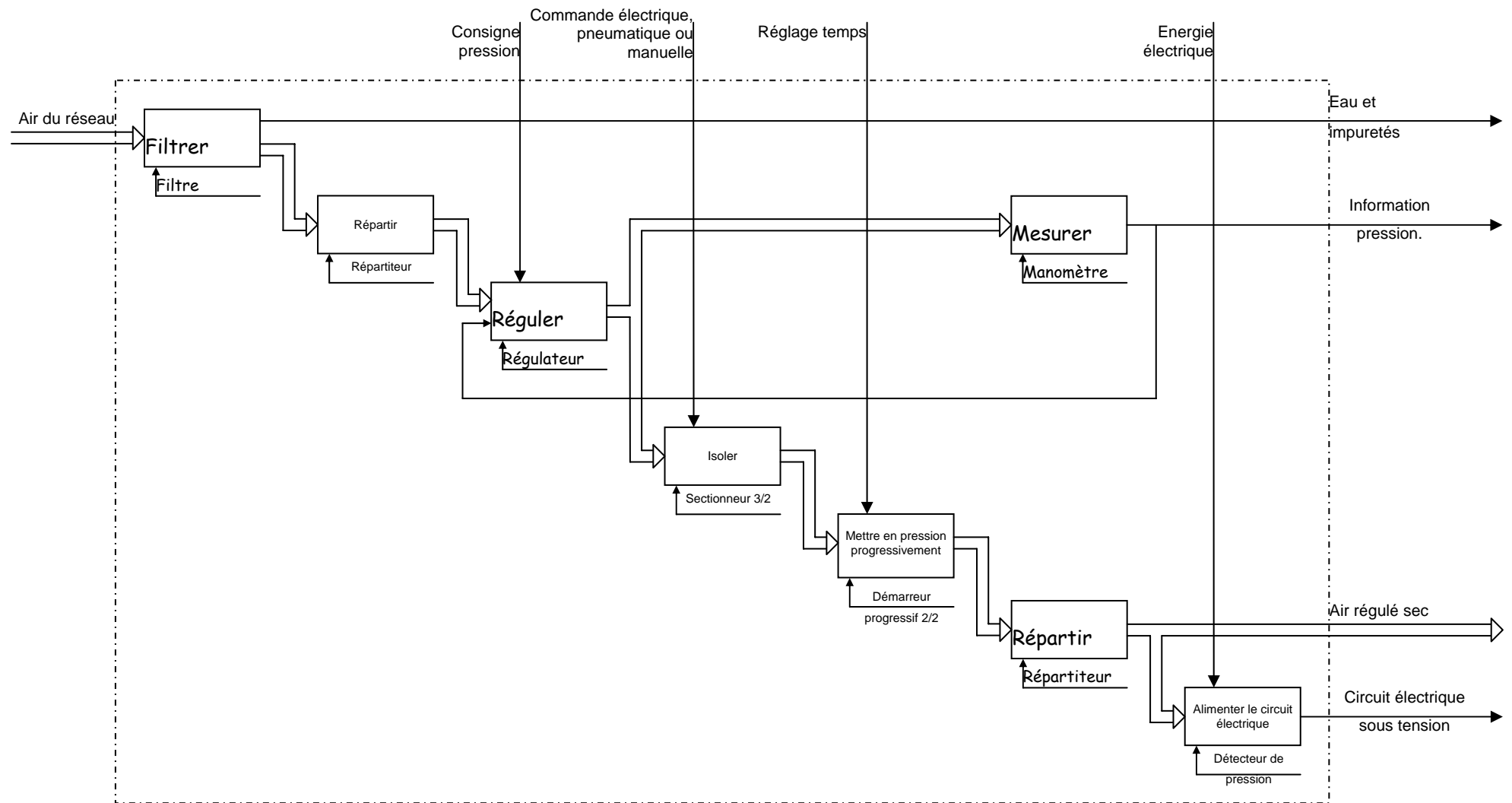
Sécheur : Il faut placer ces appareils en sortie des réservoirs d'air.

D.2. Alimentation en air comprimé

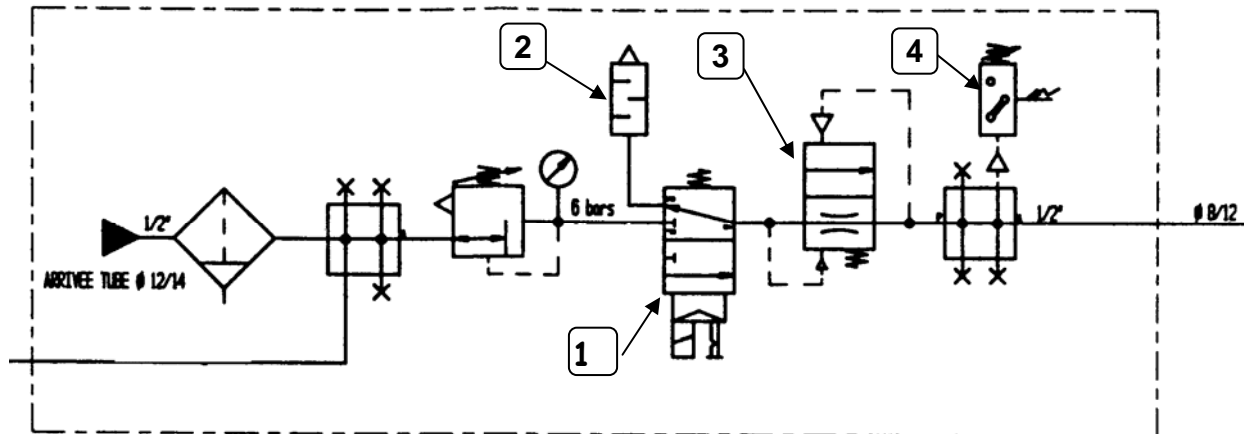
Actigramme A-0 du groupe de conditionnement



D.2.1. A partir de l'actigramme A-0 et du schéma de l'alimentation, compléter l'actigramme A0 page suivante.



D.2.2. Le groupe de conditionnement de la machine étudiée est représenté ci-dessous:



Identifier les matériels repérés 1 ; 2 ; 3 et 4 et préciser leur fonction.

1

Identification : Distributeur 3/2 à commande électro-pneumatique et manuelle avec rappel par ressort
Fonction Sectionner : Permet de mettre et de couper la pression dans le réseau pneumatique

2

Identification Silencieux d'échappement

Fonction Evacuer : Permet la dépressurisation de façon silencieuse du réseau pneumatique

3

Identification : Démarreur progressif 2/2 (Passage direct ou débit régulé) à commande et rappel pneumatique
Fonction Pressuriser progressivement le réseau : (≈démarreur progressif des moteurs): évite les coups de bélier des vérins

4

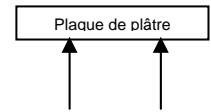
Identification : Contact électrique à commande pneumatique et rappel ressort
Fonction : Alimenter le circuit de commande électrique : . Contact de pré-coupure du circuit de commande électrique

D.3. Détermination des vérins du poussoir de chargement

Données techniques

Le dossier technique du système étudié indique :

- Le poussoir de chargement est constitué de 2 vérins double effet montés en tandem : (voir schéma en Annexe D2) ;
Ce poussoir est chargé de soulever les plaques de plâtre.
- Masse des plaques de plâtre = 30,5 kg ou 57,12 kg
- Pression du réseau = 7 bars \pm 1 bar.



Travail demandé

On vous demande de dimensionner les deux vérins du « poussoir de chargement » sachant que :

- le rendement des vérins est de 0,75
- le taux de charge maximal est de 50%.
- la course des vérins est de 100 mm.

D.3.1. Déterminer l'effort à vaincre par l'un des deux vérins du « poussoir de chargement »

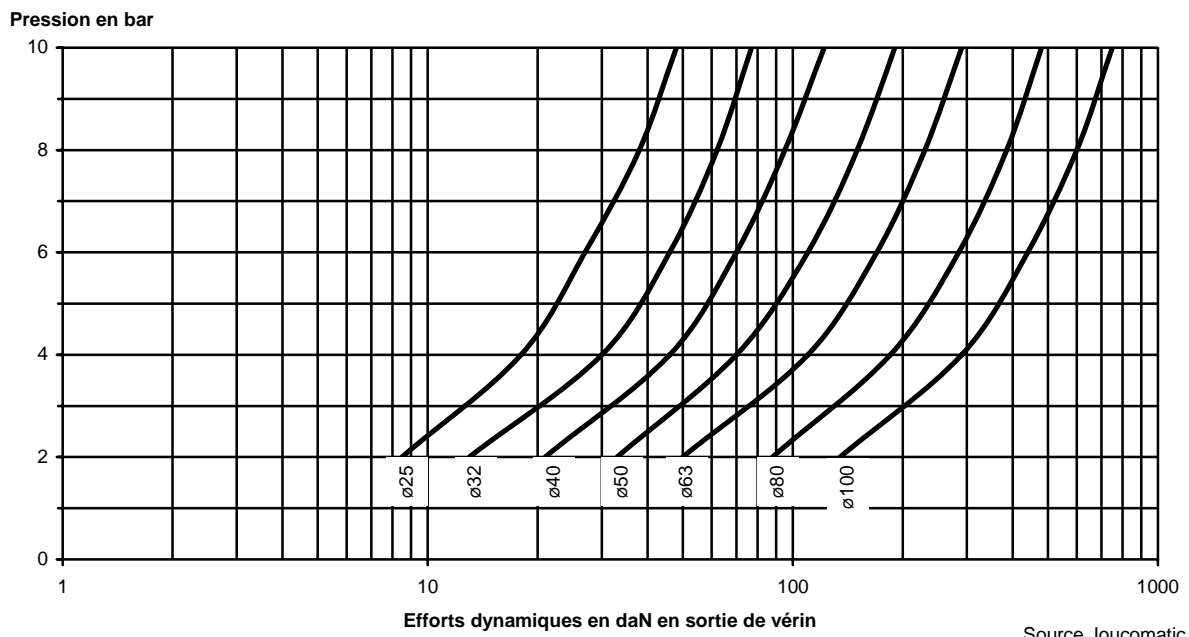
Poids des plaques = $M \times g = 57,12 \times 9,81 = 56 \text{ daN}$

Nous possédons 2 vérins travaillant en tandem : La charge statique C_s est donc de 28 daN

La force dynamique F_d à exercée par vérin est donc :.

$F_d \rightarrow C_s / t_c = 28 / 50\% = 56 \text{ daN}.$

D.3.2. En vous servant de l'abaque ci-dessous déterminer le diamètre normalisé du piston. Faire apparaître le tracé de recherche.



A partir de l'effort dynamique déterminé dans la question précédente (56daN), de la pression minimum garantie(6bars) et de l'abaque, nous trouvons qu'il nous faut un vérin dont le piston possède un diamètre normalisé de 40mm

D.3.3. Parmi les vérins présentés sur la documentation technique (voir annexe D1), proposer une référence du vérin avec son système de fixation adapté à notre installation.

CRDNG - 40 - 100 PPV - A

Chapes : CRLNZG - 40

D.4. Modification du schéma du poussoir de chargement

D.4.1. Quel sont les nom et rôle de l'appareil repéré 29 sur le schéma du poussoir de chargement (voir annexe D2) ?

C'est un réducteur de débit unidirectionnel permettant de contrôler le débit d'air propulsé lors de la sortie du vérin, et donc de réguler la vitesse de sortie de celui-ci

D.4.2 Quel sont les nom et rôle de l'appareil repéré 8 sur le schéma du poussoir de chargement (voir annexe D2) ?

C'est un bloqueur, lorsque l'arrivée de pression est insuffisante, il bloque l'entrée et la sortie du vérin en interdisant le passage d'air entre le distributeur et le vérin

D.4.3. Lors d'une opération de maintenance, nous sommes amenés à remplacer le matériel repéré 8 et le distributeur. Malheureusement ils ne sont plus disponibles. Néanmoins, nous disposons au magasin des matériels suivants :

FESTO	
Référence	Représentation
CPE14-M1H-5/3B-QS8	
CPE10-M1H-5/3E-QS6	
CPE10-M1H-5/3G-QS6	

Choisir celui qui convient en justifiant votre choix.

Le distributeur qui convient est celui portant la référence « CPE10-M1H-5/3G-QS6 », car lorsque la pression devient insuffisante, le distributeur reprend la position centrale, elle est équipée d'orifices bouchés