

SESSION 2002

C A P E T

CONCOURS EXTERNE

Section : GENIE ELECTRIQUE
Option : ELECTROTECHNIQUE ET ENERGIE





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

Durée : 8 heures – Coefficient : 1

Aucun document n'est autorisé

Moyens de calculs autorisés : calculatrices suivant circulaire n° 99-186 du 16-11-1999
Convertisseur euro non autorisé (on rappelle : 1 € = 6,55957 F)

Composition du sujet :

	Présentation générale du sujet :	04 pages.
	Texte du sujet : <i>PARTIE A : elle traite du dimensionnement du moteur de la dérouleuse et de son variateur, ainsi que du paramétrage de ce dernier (pages 01 à 05).</i> <i>PARTIE B : elle traite de l'alimentation BTA de la ligne de laquage (pages 06 à 09).</i> <i>PARTIE C : elle traite de l'étude partielle du poste HTB/HTA concernant le relèvement de facteur de puissance et de la surveillance des courants de fuite (pages 10 à 12).</i>	12 pages.
	Documents techniques : <i>Documents techniques partie A : 34 pages,</i> <i>Documents techniques partie B : 13 pages,</i> <i>Documents techniques partie C : 08 pages.</i>	55 pages.
	Documents réponses : <i>Documents réponses partie A : 08 pages,</i> <i>Documents réponses partie B : 05 pages,</i> <i>Documents réponses partie C : 02 pages.</i>	15 pages.

Conseils aux candidats :

Ce sujet se compose de trois parties indépendantes, à l'intérieur desquelles de nombreuses questions sont elles mêmes indépendantes. Une lecture attentive de l'ensemble s'avère nécessaire avant de composer.

Les candidats sont donc priés de rédiger sur des feuilles séparées chacune de ces parties. Il est demandé d'utiliser les notations du texte ou des figures, de repérer chaque réponse et/ou représentation graphique du même repère alphanumérique que la question, de présenter clairement les calculs, de dégager et d'encadrer les résultats relatifs à chaque question.

Les documents réponses doivent être impérativement utilisés et tous doivent être rendus avec la copie (même ceux non complétés).

La qualité des réponses (utilisation d'une forme adaptée pour présenter le résultat, justification du résultat...) sera prise en compte dans l'évaluation.

PRESENTATION GENERALE DU SUJET

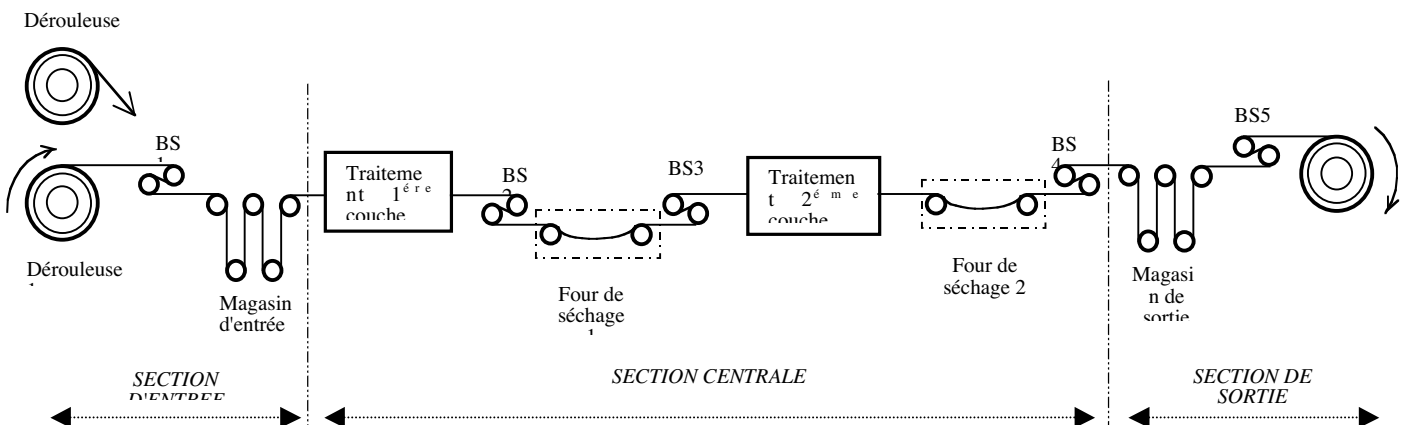
1. Présentation de l'entreprise :

La société SOLLAC est le pivot de la branche des produits plats du groupe Usinor Sacilor. Il est le premier producteur européen de tôles d'acier.

L'usine de SOLLAC Strasbourg (162 000 m²), implantée sur le port du Rhin, est desservie par le rail, la route et la grande voie navigable européenne, le Rhin.

Le site produit 320 000 tonnes de tôles galvanisées et laquées par an.

2. Présentation du procédé d'enroulage :



1.1. Caractéristiques mécaniques de la ligne de laqueage :

- Le produit : le pré-laquage consiste à déposer sur la tôle d'acier un film de peinture d'une épaisseur ajustable entre 10 et 20 μm .
- Investissement : 135 MF en 1991
- Longueur : 1200 m
- Largeur des tôles : 750 à 1520 mm
- Epaisseur des tôles : 0,4 à 1 mm
- Vitesse de référence : 60 m/mn
- Vitesse maximale : 120 m/mn
- Capacité : 21 t/h

1.2. Caractéristiques de la distribution électrique :

La ligne de laqueage est alimentée par 3 transformateurs TR1, TR2, TR3 de 13,5 kV/ 400 V et de puissance 1 600 kVA.

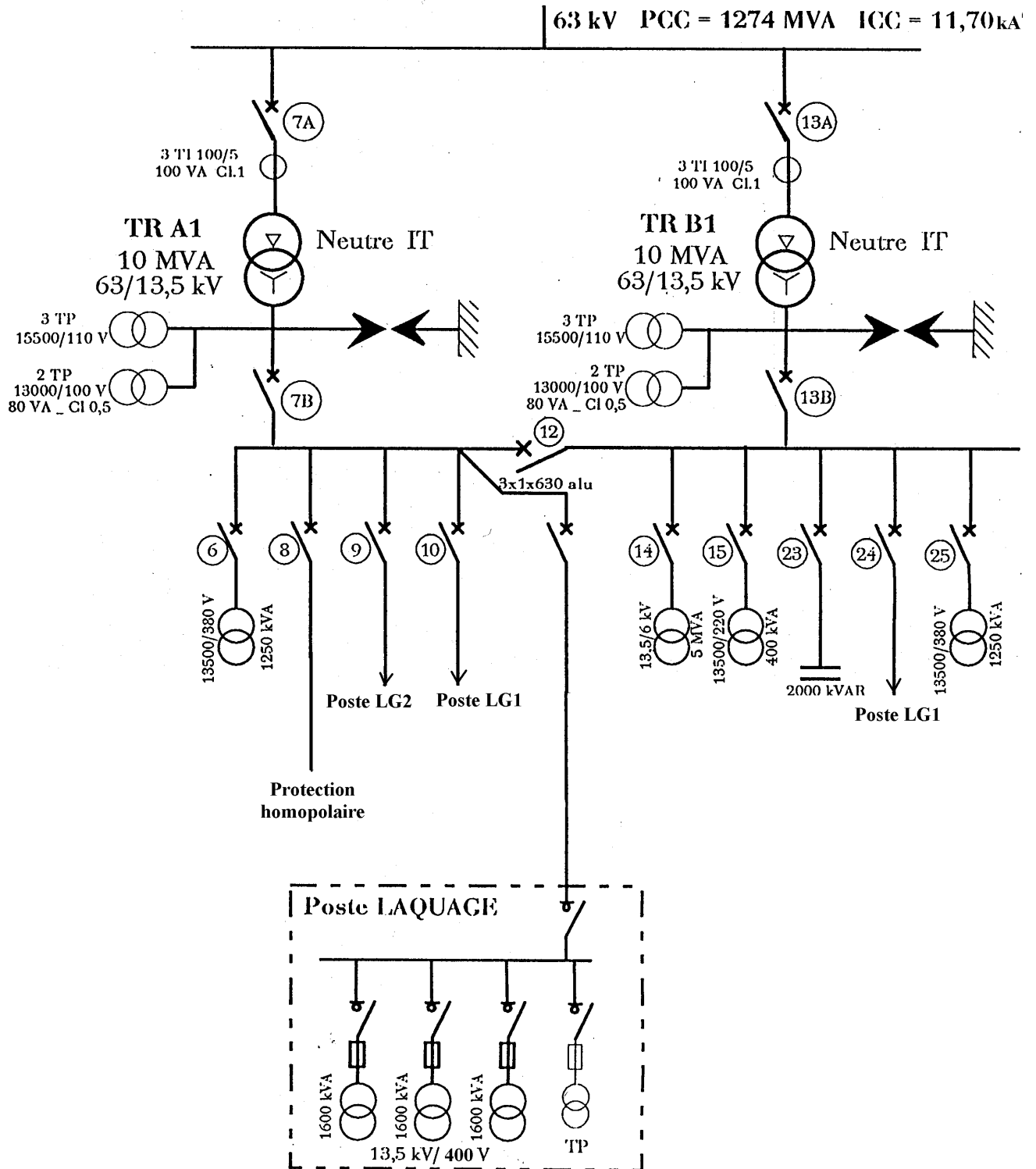
Seul TR1 fait partie de l'étude (Partie B).

1.3. Le procédé se compose de 3 sections :

- Une section centrale assurant le laquage des tôles déroulées, ce dernier devant être assuré sans discontinuité d'alimentation de matière: il est constitué des blocs en S BS2, BS3, BS4, de la mise en peinture (enduction) sur deux couches et des deux fours de séchage associés,
- Une section d'entrée formée des dérouleuses, du bloc en S tracteur BS1, et d'un magasin d'entrée assurant la continuité d'alimentation (240 m, trois minutes d'arrêt),
- Une section de sortie formée d'un magasin de sortie assurant le stockage pendant le changement de bobine de l'enrouleuse, un bloc en S BS5 et de l'enrouleuse.

3. Alimentation du site en énergie électrique :

L'ensemble du site de Strasbourg est alimenté par un réseau HTB de 63 kV. Un poste HTB/HTA assure l'alimentation des différentes zones du site en 13,5 kV.



4. Cahier des charges de la ligne de laquage (extraits) :

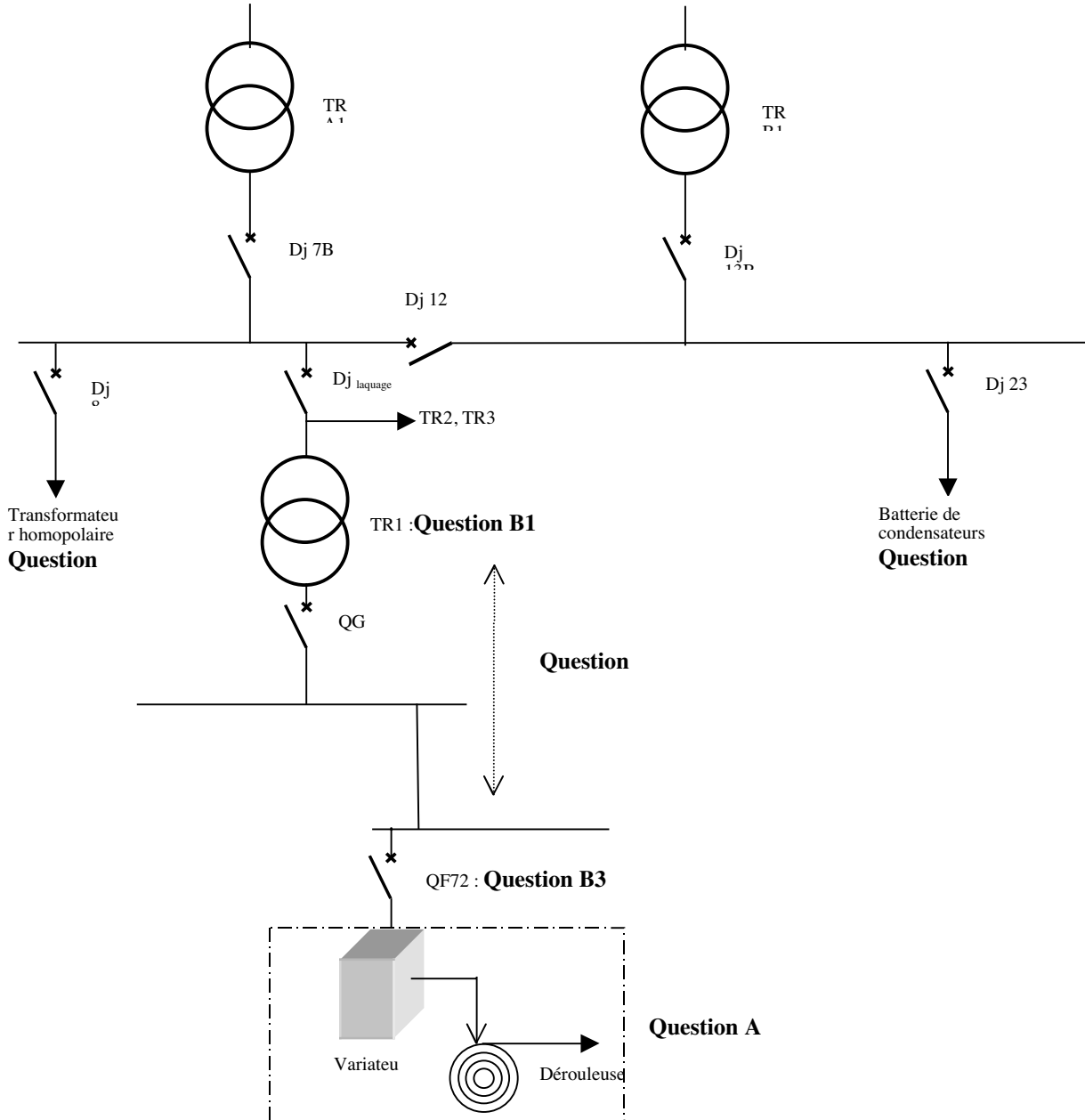
Données dérouleuse	
Données vitesse	Vitesse linéaire maxi : $v_{\max i}=120$ m/mm Accélération : $\gamma = 0,2$ m/s _² Décélération : $\gamma = 0,2$ m/s _²
Données traction	Traction sur la bande : $T=8$ N/mm
Données alimentation électrique	$U=400$ V CC
Données bobine	Masse volumique : $m_v=7800$ kg/m ³ Largeur minimum : $l_{\min}=0,75$ m Largeur maximum : $l_{\max}=1,52$ m Epaisseur minimum : $e_{\min}=0,4$ mm Epaisseur maximum : $e_{\max}=1$ mm Masse maximale hors mandrin : $M_{\max}=18$ tonnes Rayon maximum bobine : $0,9$ m
Donnée mandrin	Rayon mandrin : $R_{\text{md}}=0,254$ m
Donnée réducteur	Rendement : $\eta_r=0,95$ Rapport de réduction : $r=23,94$
Inerties ramenées à l'arbre moteur	Mandrin : $J_{\text{md}}=0,146$ kg.m _² Réducteur : $J_r=0,25$ kg.m _² Frein : $J_f=0,65$ kg.m _²
Données moteur dérouleuse	Moteur non compensé Ventilation forcée IP23
Données sur la distribution électrique	
Alimentation du site	HTB 63 kV
Poste HTA	HTB/HTA 63 kV/13,5 kV Neutre mis à la terre par une réactance homopolaire Z_0 de $116,9 \Omega$ Batterie de condensateurs côté HTA de 2000 kvar / 13,5 kV
TGBT	Transformateur TR1 1600 kVA; 13,5 kV/400V; Dyn11 Régime IT à neutre impédant par $Z_M= 1000 \Omega$

ORGANISATION GENERALE DU SUJET

La partie A traite du dimensionnement du moteur de la dérouleuse et de son variateur, ainsi que du paramétrage de ce dernier.

La partie B traite de l'alimentation BTA de la ligne de laquage.

La partie C est une étude partielle du poste HTB/HTA concernant le relèvement de facteur de puissance et la surveillance des courants de fuite.



A. ETUDE DE LA DEROULEUSE

A.1. Etude de la bande se déroulant à vitesse constante.

Pour la partie A1 utiliser les Documents techniques partie A des pages 1 à 12
La tension d'induit est de 400 V cc.

A.1.1. Remplir le quadrant de fonctionnement sur le document joint :

DOCUMENT REPONSE A.1.1 page 1/15.

Prendre la convention positive indiquée sur le graphe pour toutes les grandeurs.

Sur la bande, tracer la force F de l'action de la bobine sur la bande au point A et la vitesse linéaire v de la bande au point B.

Sur la bobine et la machine, orienter la vitesse et le couple, en utilisant l'indice b pour la bobine et l'indice m pour la machine.

- *Indiquer les numéros des quadrants.*
- *Orienter la flèche correspondant au sens des énergies.*
- *Préciser le quadrant de fonctionnement.*

A.1.2. Caractéristiques de la charge :

Pour dérouler, laquer et enrouler des bandes de métal, il faut réguler le procédé à vitesse constante et

enrouler et dérouler à forces constantes.

- *Montrer que la puissance de la charge reste constante quel que soit le rayon de la bobine.*
- *Tracer l'allure de la courbe de charge $\Omega = f(C)$.*
- *Sur le même graphique hachurer une surface représentant la puissance pour un point de fonctionnement.*

A.1.3. A partir des données du cahier des charges :

DOCUMENT REPONSE A.1.3 page 2/15.

En respectant la convention de la question A.1.1 :

Voir présentation générale page 3/4.

- *Remplir le tableau pour dimensionner la machine*
- *Calculer la puissance théorique ($C_{max} \cdot \Omega_{max}$).*

A.1.4. Choisir une machine à partir de la puissance théorique : ($C_{max} * \Omega_{max}$).

Machine non compensée et ventilation radiale.

- *Donner la référence complète du moteur.*
- *Choisir son ventilateur et son frein (sachant que le couple résistant $C_r > 400 \text{ N.m}$).*
- *Préciser sa désignation et son couplage.*

A.1.5. Comparer la puissance théorique maximale et la puissance utile :

- *Expliquer cette différence.*
- *Sur le graphique de la question A.1.2, hachurer la surface représentant la puissance théorique maximale.*

A.2. Dimensionnement de la dérouleuse : Phases d'accélération et de décélération.

Nous voulons comparer les courants absorbés par la machine en régime établi et en régimes transitoires (accélération et décélération).

Pour cela nous calculons les couples accélérateurs sur l'arbre de la machine et nous en déduisons le rapport en fonction du couple résistant ramené sur la machine :

$$(C_r m + C_{acc} m) / C_r m$$

- **Les masses maximales des bobines sont de 18 t.**
- largeur maxi 1,52 m et masse volumique du métal 7 800 kg/m³.
- Voir présentation générale page 3/4.

Les calculs seront présentés sur une feuille de copie.

- Compléter les *DOCUMENTS REPONSES* A.2 pages 3/15 et 4/15.

A.3. Dimensionnement de la dérouleuse : avec défluxage.

A.3.1. Donner les équations de la machine à courant continu (Force électromotrice et couple en fonction du courant).

A.3.2. Justifier le besoin de défluxage dans notre cas en utilisant la question A.3.1 et les puissances.

A.3.3. Courbe de couple en fonction de la vitesse

Dans le document technique partie A page 7 (utiliser la courbe $I_{max} = 1,2 \times I_n$).

Utiliser les valeurs numériques de la machine choisie à la question A.1.4.

- Tracer sur le même graphique pour la machine choisie dans la question A.1.4, les courbes de puissance et de couple en fonction de la vitesse jusqu'à trois fois la vitesse nominale de la machine.
- Compléter le *DOCUMENT REPONSE* A.3.3 page 5/15.
- Positionner les flèches sur les limites des zones correspondant aux fonctionnements à couple constant, à puissance constante et à puissance réduite.
- Dans chaque case vide :
 - Calculer les vitesses correspondant aux changements de régime.
 - Calculer le couple de la machine.
 - Calculer la puissance.

A.3.4. Choisir le moteur en fonction du défluxage optimal, dans les documents techniques de la partie A pages 7, 8, 9, 10, 11 et 12.

- Citer les critères de choix.
- Donner la désignation exacte de la machine avec son ventilateur et son frein.
- Compléter le *DOCUMENT REPONSE* A.3.4 page 6/15.

La puissance de la machine doit être la plus proche possible de celle de la charge.

- Prendre la courbe $I_{max} = 1,2 \times I_n$ et choisir parmi les moteurs non compensés.

A.4. Régulation en boucle ouverte : identification de la consigne de traction F.

A.4.1. Compléter le DOCUMENT REPONSE A.4.1 page 7.

Nous prendrons la force de traction comme consigne de régulation.

A.4.2. Tracer sur la même courbe :

- *L'allure de la consigne de traction maximale, sur un cycle de déroulement de la bobine (en fonction du rayon).*
- *L'allure de la consigne de couple machine calculée sur un cycle de déroulement de la bobine (R maximal à R minimal).*
- *Indiquer les valeurs numériques (maximales).*

A.5. Choix du convertisseur et des options :

A.5.1. Choix du convertisseur.

Les documents techniques de la partie A pages 13 à 32 (variateur).

La dérouleuse au début du déroulement est en fonctionnement moteur pour mettre en place la bande et l'agrafer.

Pour cela l'ensemble moteur variateur fonctionne en « manuel assisté ».

A.5.1.1. Choisir le convertisseur et ses accessoires en précisant les critères de choix.

A.5.1.2. Schéma de câblage.

- *Compléter le DOCUMENT REPONSE A.5.1.2 page 8/15.*

Cahier des charges :

Désignations	Repères
Disjoncteur général Commande par levier cadenassable	QF72
Interrupteur sectionneur sur l'induit et l'excitation. Commande par levier et cadenassable	QS92
Sonde moteur	Mc93
Contacteur moteur Protection fusible	Km223 FU 83
Contacteur frein Protection par fusible Ensemble transformateur et pont de diode	Km228 FU88 TR D 48
Disjoncteur ventilateur	QF99
Information vitesse par générateur d'impulsion GI.	GI
Contacteur ventilateur	Km222

	Variateur prêt	E1API
	Débloccage variateur	S1Api
	Reset variateur	S2Api
la	Consigne couple, adresse imposée par carte MD29	SA 1 Api
	Mesure de la vitesse linéaire Carte MD29	BS1
	La commande du sens de déplacement pour une dérouleuse est validée en permanence. L'arrêt est réalisé par une consigne nulle.	

A.6. Dérouleuse entraînée par une machine asynchrone.

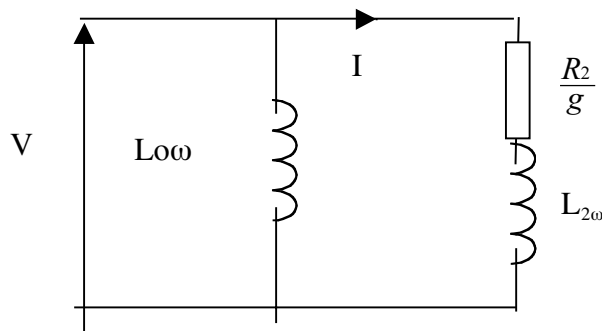
A.6.1. Donner le type de commande qu'il faut associer avec un moteur asynchrone pour obtenir un couple à l'arrêt.

Analyse du comportement de la machine asynchrone en fonctionnement défluxage.

A.1.1.1. A partir des caractéristiques mécaniques et du schéma équivalent simplifié d'une machine asynchrone :

La résistance et inductance statoriques sont négligées

- *Exprimer le couple en fonction des caractéristiques de la tension d'alimentation et des caractéristiques électriques de la machine. (V , R , L_2 , ω , p (paire de pole), g)*



A.1.1.2. Le couple maximal peut s'écrire sous la forme :

$$C_{\max} = \frac{K \times \phi^2}{2 \times L_2}$$

- *Exprimer K .*
- *Comment varie le couple maximal au delà de la vitesse nominale dans une machine asynchrone?*

A.1.1.3. Les caractéristiques de $C = f(\Omega)$:

On montre, en négligeant le courant magnétisant et l'effet de l'inductance rotorique, que le couple nominal pour vitesse supérieure à la vitesse nominale est :

$$Cn = K \times \phi$$

- *Tracer les caractéristiques de $C = f(\Omega)$: (à U constant) :*
- *Pour la vitesse nominale,*
- *Pour un défluxage correspondant à deux fois la vitesse nominale,*
- *Pour un défluxage correspondant à trois fois la vitesse nominale.*

Avec $C_{max} = 2 \times C_n$

A.1.1.4. Bilan énergétique entre une machine asynchrone et une machine à courant continu commandées par des convertisseurs.

- *Dessiner les structures des convertisseurs de puissance en continu et en alternatif pour entraîner une dérouleuse.*
- *Réaliser un bilan de puissance sur une structure du même type que chez Sollac comportant une enrouleuse et une dérouleuse (représentation graphique possible des structures des convertisseurs).*
- *Conclure sur la structure la plus économique en terme de consommation globale de puissance.*

A.1.1.5. Pour des puissances moteur de 5.5 kW, 55 kW et 250 kW.

- *Analyser et faire un choix entre une machine asynchrone ou une machine à courant continu en fonction :*
 - *Du type,*
 - *Du point vu économique,*
 - *De la puissance,*
 - *De l'entretien.*

Prix et caractéristiques des convertisseurs et des moteurs :

Documents techniques partie A pages 33 et 34.

B. DISTRIBUTION BTA DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

L'usine SOLLAC est alimentée en HT 63 kV dans un poste dont le schéma est donné en document technique partie C page 1.

L'unité de laquage est alimentée à partir de ce poste HTB en HTA (13,5 kV) par 3 transformateurs triphasés dont seul TR1 fait partie de l'étude.

Ce poste de transformation est installé au rez-de-chaussée d'un bâtiment de grande hauteur.

Le schéma électrique de la distribution basse tension est fourni en document technique partie B page 2.

Les éléments alimentés par le départ direct figurent en document technique partie B page 3. Il s'agit d'une partie importante de la motorisation en courant continu de l'unité de laquage, le bloc GUI assurant l'alimentation du bus continu des variateurs de fréquence.

On dispose sur les divers documents ressources des puissances mécaniques nécessaires et des références des moteurs choisis.

Le bloc en S N° 1 bis, associé au départ Q2, ainsi qu'une partie des enducteurs, câblés en "réserve" ne sont pas pris en compte dans le bilan de puissance. On remarquera d'autre part qu'une seule dérouleuse fonctionne à tout instant.

B.1. Choix du transformateur TR1 :

On s'inspirera des schémas électriques fournis en documents techniques partie B pages 2 et 3.

B.1.1. Bilan de puissances pour le départ associé au disjoncteur Q1 :

Ce départ concerne des moteurs en démarrage direct.

On trouvera ce départ sur le document technique partie B page 2 et les caractéristiques des moteurs asynchrones en document technique partie B page 4.

- *Déterminer les puissances active $P1$ et réactive $Q1$ absorbées réellement par ce départ en complétant le DOCUMENT REPONSE B.1.1 page 9/15, items 860 et 861.*

B.1.2. Puissances sur les départs associés aux disjoncteurs Q3, Q4 et Q5 :

On se propose à partir des valeurs nominales des moteurs et de l'appareillage de déterminer ces puissances.

Pour les départs Q4 et Q5, on considérera que les réglages de disjoncteurs sont faits sur le maximum de récepteurs installés, et qu'à tout moment la puissance appelée sur ces départs n'excèdera pas 50 % du maximum installé.

On s'aidera du document technique partie B page 2, sur lequel figurent les indications nominales de courants, puissances et facteurs d'utilisation.

- *Compléter le DOCUMENT REPONSE B.1.2 page 9/15.*

B.1.3. Puissance réactive sur le départ BCNC :

On s'intéresse maintenant au départ alimentant les variateurs pour machines à courant continu.

Le facteur de puissance est de 0,95 sur ce départ.

Le schéma associé est fourni en document technique DT B.1.B. page 3.

D'autre part, le document technique DT B.1.3 page 5 résume les puissances mécaniques calculées pour les divers éléments.

La puissance active totale absorbée par l'ensemble du départ BCNC a été évaluée par le bureau d'études à $P_{BCNC} = 230$ kW.

- *Complétez le DOCUMENT REPONSE B.1.3. page 10/15.*

B.1.4. Synthèse et choix du transformateur TR1 :

Les puissances étant maintenant connues, on peut choisir le transformateur TR1.

Un guide de choix est fourni en document technique partie B page 6. On prévoira une possibilité d'extension de 20 % en puissance distribuée.

- *Complétez le DOCUMENT REPONSE B.1.4 page 10/15 et choisissez le transformateur TR1 (puissance et type).*

B.2. Appareillage basse tension :

L'objectif de la question est de choisir le disjoncteur général QG et son déclencheur.

- L'ensemble des conducteurs de la distribution BT est en cuivre.
- Le câble principal allant du transformateur au jeu de barre 1, protégé par le disjoncteur QG a une section de 2 fois 630 mm² par phase et une longueur de 5 m.
- Le jeu de barre 1 (JDB1) répartissant les départs Q1 à Q5 et direct (cf. Document technique partie B page 2) a une section de 3 fois 100 mm x 5 mm par phase et une longueur de 3 m.
- Le câble alimentant le départ direct a une section de 2 fois 630 mm² par phase et une longueur de 15 m.
- Le jeu de barre 2 (JDB2) en aval du départ direct (cf. Document technique partie B page 3) a une section de 2 fois 80 mm x 5 mm par phase et une longueur de 10 m.
- Les câbles alimentant les disjoncteurs terminaux ont une longueur négligeable.

B.2.1. Enroulements du transformateur TR1 :

On trouvera en documents techniques partie B pages 7 et 8 les résultats des essais effectués sur le transformateur TR1 effectivement en place.

- *Représentez le schéma interne des enroulements du transformateur TR1 en le justifiant par la construction de Fresnel associée.*

B.2.2. Disjoncteur principal QG :

Les valeurs retenues seront celles fournies et garanties par le document technique partie B pages 7 et 8. Un tableau de choix est fourni en document technique partie B pages 9. Le choix du déclencheur associé sera fait ultérieurement.

- *Après avoir indiqué en les explicitant les critères essentiels, donnez une référence (calibre et type) pour le disjoncteur général QG.*

B.2.3. Sélectivité :

Nous allons maintenant choisir le déclencheur associé au disjoncteur QG. On négligera l'impédance du réseau amont ainsi que les impédances internes des disjoncteurs.

- *Quel est à priori le disjoncteur pour lequel la sélectivité sera la plus dure à obtenir avec le disjoncteur général QG et pourquoi ?*
- *Calculez le courant de court-circuit I_{cc2} directement en aval du jeu de barres JdB2 (DOCUMENT REponse B.2.3 page 11/15 et document technique partie B page 10) et choisissez ce disjoncteur (calibre et type, document technique partie B page 11).*
- *Indiquez le déclencheur à associer à QG pour assurer la sélectivité (document technique partie B page 12.).*
- *Justifiez clairement cette réponse.*

B.3. Protection des personnes sur le départ dérouleuse :

Chaque dérouleuse est alimentée par plusieurs câbles multipolaires en cuivre sur une distance de 140 m :

- 3 conducteurs de 1*35 mm₂ (dont PE) pour l'induit (400 V CC),
- 4 conducteurs de 1*2,5 mm₂ (dont PE) pour le ventilateur (400 V CA)
- La liaison équipotentielle entre les carcasses des machines a une impédance négligeable.

On considère que l'installation est en milieu sec.

Le disjoncteur QF72, protégeant l'ensemble du départ dérouleuse, a un réglage instantané I_r m à 2 000 A et un pouvoir de coupure de 50 kA.

Le départ annexe vers le ventilateur dispose d'une protection par fusibles aM6 (voir document technique partie B page 13 , B.3.B).

L'impédance du neutre Z_m (document technique partie B page 2) vaut 1 000 Ω .

On considérera que l'influence des capacités réparties est négligeable.

Il en sera de même de l'impédance interne du transformateur d'alimentation.

La résistivité du cuivre ρ sera prise égale à 22,5 m Ω .mm₂/m.

B.3.1. Défaut simple sur le ventilateur :

On suppose un premier défaut franc entre un enroulement et la carcasse du ventilateur.

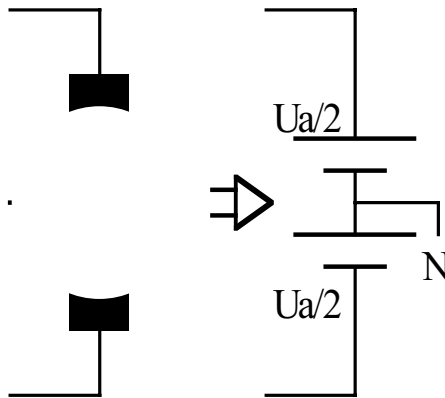
- *Complétez le DOCUMENT REponse B.3.1 page 12/15 en indiquant le défaut, la boucle en défaut, le courant de défaut I_{d1} et la tension de contact U_{c1} .*
- *Donnez un schéma équivalent simplifié mettant en évidence les impédances de la boucle en défaut, ainsi que la tension de contact U_{c1} .*
- *Évaluez le courant de défaut I_{d1} et la tension de contact U_{c1} .*
- *Concluez.*

B.3.2. Défaut simple sur le moteur de la dérouleuse :

On suppose un premier défaut franc entre l'induit et la carcasse du moteur de la dérouleuse. On considérera que la tension secondaire du transformateur d'alimentation ne varie pas.

- Complétez le DOCUMENT REponse B.3.2 page 12/15 en indiquant le défaut, la boucle en défaut, le courant de défaut I_{d2} et la tension de contact U_{c2} .
- Donnez un schéma équivalent simplifié mettant en évidence les impédances de la boucle en défaut ainsi que la tension de contact U_{c2} .
- Évaluez le courant de défaut I_{d2} et la tension de contact U_{c2} .
- Concluez.

B.3.3. Vérification des conditions de protection sur défaut double :



On suppose maintenant les deux défauts précédents simultanés. On appliquera la méthode "conventionnelle" précisant que pendant la durée du défaut, la tension à l'origine du départ considéré est égale à 80 % de l'impédance totale de la tension nominale de l'installation.

On admettra que l'induit du moteur de la dérouleuse peut être modélisé par une source de tension continue U_a de valeur 400 V se répartissant symétriquement par rapport à une référence de potentiel au neutre.

- Complétez le DOCUMENT REponse B.3.3 page 13/15 en indiquant le défaut, la boucle en défaut, le courant de défaut I_{d3} et la tension de contact U_{c3} . Il est inutile de faire les calculs. Dans la configuration actuelle, quel élément doit assurer la protection ?

Le tableau ci-contre, issu de la norme CEI 60364, donne les temps de coupure maximaux en fonction de la tension de service. On considérera pour la suite que la valeur efficace du courant de défaut I_{d3} vaut 100 A.

- La protection des personnes est-elle assurée (document technique partie B page 13, B3.B) ?

Réseau U_0 (V)	Temps maximaux de coupure (s)	
	Neutre non distribué	Neutre distribué (pour réseaux monophasés)
127	0,4	1
230	0,2	0,5
400	0,06	0,2
>>400	0,02	0,08

B.3.4. Modification du départ "ventilateur" :

Il faut lire le document technique partie B page 13, B.3.A.

Une modification est apportée à ce départ. Le ventilateur d'origine est remplacé par un modèle de puissance utile supérieure, ce qui conduit à remplacer les fusibles aM6 par des fusibles aM10 ; il n'est ni nécessaire, ni souhaitable de changer le câble d'alimentation.

- La protection des personnes est-elle toujours assurée? Si non, quelle(s) solution(s) technique(s) préconisez-vous?

C. POSTE HT

L'unité de laquage est constituée de 3 transformateurs (dont TR1 étudié précédemment) alimentés en HTA (13,5 kV) par un poste HTB-HTA (63 kV/13,5 kV). C'est une étude partielle de ce dernier, dont le schéma est fourni en document technique partie C page 1, qui fait l'objet de cette partie.

C.1. Etude de la batterie de condensateurs :

Le document technique partie C page 1. fait apparaître un rajout d'une batterie de condensateurs. Cette dernière a été intégrée à l'installation en 1995, après étude des factures du fournisseur d'énergie (Electricité de Strasbourg dans ce cas).

C.1.1. Prédétermination de la batterie de condensateurs :

La grille de lecture des factures de Electricité de Strasbourg se trouve en documents techniques partie C pages 2 et 3.

On trouvera en document technique partie C page 4 la facture d'énergie pour le mois de Novembre 1994. Il y a 324 heures pleines (celles qui génèrent une facturation d'énergie réactive) et 396 heures creuses par mois (cette information ne figure pas sur la facture de 1994). On précise que la puissance consommée varie très peu dans le temps.

- *Calculez le facteur de puissance.*
- *Donnez les caractéristiques de la batterie de condensateurs qui permettrait d'éviter une facturation de l'énergie réactive.*

C.1.2. Conséquences sur la facture et amortissement :

La batterie en place a pour caractéristiques nominales 2 000 kVAR sous 13,5 kV. Son coût total a été de 6 555,31 € TTC.

- *Quel devrait être le nouveau facteur de puissance (dans les conditions de la facture de 1994) ?*
- *Est-ce conforme à la facture de Novembre 1997, établie après installation de la batterie de condensateurs (document technique partie C page 5) ?*
- *Que pensez-vous du temps d'amortissement ?*

C.1.3. Etude du montage de la batterie de condensateurs :

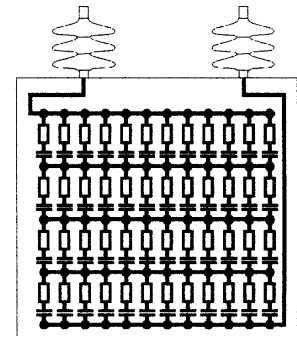
La fiche technique de la batterie de condensateurs, couplée en double étoile, fournit les éléments suivants :

- Tension assignée : 13,5 kV
- Puissance assignée : 2 000 kVAR
- Fréquence assignée : 50 Hz
- Courant assigné : 86 A
- Isolement : $U_m = 17,5$ kV entre bornes pendant 10 s, $U_i = 38,95$ kV entre borne et cuve pendant 10 s
- Capacité phase neutre : 34,96 μ F
- Couplage : double étoile

Le montage double étoile est représenté en document technique partie C page 6.

Les batteries de condensateurs haute tension de ce type sont réalisées à la demande par assemblage de condensateurs unitaires (voir figure donnée en exemple ci-contre).

Une fois le montage effectué sur site, un courant de circulation I_{cn} inférieur à 1 A a été mesuré entre les 2 points étoile.



- Vérifiez que la puissance réactive fournie ainsi que le courant absorbé en ligne sont sensiblement égaux aux valeurs assignées.
- Si les capacités des condensateurs étaient égales, quel serait le courant de circulation dans le neutre ?

Si une des batteries de condensateurs unitaires venait à être coupée, on montre que la valeur complexe du courant de circulation I_{cn} s'écrirait $I_{cn} = -\frac{3V}{5Z}$ (avec V tension simple, Z impédance d'un condensateur).

L'écriture complexe du potentiel du point étoile sur la branche déséquilibrée serait $V_{n'} = -\frac{V}{5}$

- Calculez dans ces conditions la valeur efficace du courant I_{cn} et la plus forte tension appliquée à un des condensateurs. Discutez de cette valeur en la comparant aux valeurs assignées.
- Un autre défaut peut être la mise en court-circuit d'un des éléments formant la batterie de condensateurs. Le montage double étoile permet-il d'assurer la protection dans ce cas ? Précisez qualitativement pour quelle valeur la protection ne doit pas déclencher et pour quelle valeur le déclenchement doit se faire?

C.2. Schéma et paramétrage d'un relais de protection :

L'objet de cette partie est d'adapter un relais à la protection de neutre adoptée (bobine de point neutre).

L'emplacement de la protection se retrouve sur le document technique partie C page 1. (départ N°8), le schéma de principe partiel en DOCUMENT REPONSE page 14/15.

On a relevé sur la plaque signalétique du générateur de point neutre :

- Isolation : 38 kV ; 50 Hz
- Niveau du neutre : 38 kV
- Primaire ABC, N secondaire a, b
- Etoile 13 500 V ; Triangle 410 V
- A) Courant de fuite au primaire admissible pendant 10 minutes : 12 A
- B) Courant de fuite au primaire provoquant un déclenchement instantané : 200 A
- Impédance homopolaire : $Z_0 = 116,9 \Omega$

C.2.1. Branchement du relais RMS 771 :

La bobine de point neutre est associée à un relais de courant RMS 771 développé par la société CEE (Continental d'Equipements Electriques) et dont les caractéristiques essentielles sont fournies en document technique partie C page 7.

La bobine de point neutre est elle-même munie d'un dispositif de surveillance des défauts internes repéré DGPT2 (DOCUMENT REPONSE C.2.1 page 14/15).

On souhaite obtenir le fonctionnement suivant:

- Dépassement température 1 sur la bobine de point neutre: signalisation par voyant V2
- Autres défauts internes sur la bobine de point neutre: déclenchement disjoncteur 8 (par alimentation de la bobine Y2). Ces défauts devront être mémorisés, le disjoncteur 8 ne pourra être refermé qu'après acquittement par un bouton-poussoir S1 (il est possible d'utiliser un relais KE).
- Seuils bas ou haut phase (contacts a1 ou a2) ou seuil bas homopolaire (contact b1) : déclenchement disjoncteur 8: ces défauts sont acquittés sur le relais RMS 771 par bouton poussoir ACK, lequel fait partie du boîtier du relais et n'est donc pas à câbler.
- Seuil haut homopolaire (contact b2): déclenchement disjoncteur 8 et déclenchement disjoncteurs principaux 7 et 13 (voir document technique partie C page 1) par enclenchement du relais auxiliaire KD.

Le circuit de commande est alimenté en 220 Vcc. Cette même tension est utilisée pour l'alimentation du relais RMS771 à travers une résistance R (valeur hors sujet) comme indiqué sur le DOCUMENT REPONSE C.2.1 page 14/15.

- *Complétez le DOCUMENT REPONSE C.2.1 page 14/15 en insérant le dispositif de mesure associé au relais RMS 771 (défaut phase mesuré sur alimentation bobine de point neutre et défaut homopolaire mesuré sur le point étoile de la bobine de point neutre) et en complétant le circuit de commande afin de tenir compte des conditions mentionnées ci-dessus.*

Les contacts a1, a2, b1 et b2, internes au relais RMS 771, seront déportés sur le schéma développé du circuit de commande afin de maintenir la lisibilité du schéma (éviter de représenter le câblage de ces contacts sur le bornier du relais).

On rappelle qu'un courant de fuite de 12 A provoque le déclenchement en 10 minutes du disjoncteur 8, et qu'un courant de fuite de 200 A provoque un déclenchement instantané des disjoncteurs 8,7 et 13.

C.2.2. Paramétrage et réglage du relais surveillance du neutre :

- Ne pas tenir compte des défauts phase,
- Associer les défauts homopolaires à l'unité B,
- Le transformateur d'intensité mesurant le courant vers la terre a les caractéristiques suivantes: CL 5P10 ; 10 VA; 100/5 A.
- Pour les protections à temps indépendant et dépendant, voir document technique partie C page 8, pour leurs équations, voir document technique partie C page 7.
- On impose pour le seuil bas un courant I_s de 10 A et une courbe à temps dépendant.
- *Pour quelle raison fixe-t-on le seuil bas à 10 A ?*
- *Pour ce même seuil bas, déterminez le type de courbe que vous préconisez (SIT, VIT ou EIT) et la valeur de T_s associée (équations sur document technique partie C page 7, plages et résolution de réglage sur deuxième tableau du DOCUMENT REPONSE C.2.2 page 15/15), en remplissant le premier tableau du DOCUMENT REPONSE C.2.2. page 15/15.*
- *Complétez le tableau de paramétrage du relais RMS 771 sur le deuxième tableau du DOCUMENT REPONSE C.2.2 page 15/15, en vous servant en particulier de la valeur de T_s et du type de courbe déterminés précédemment.*

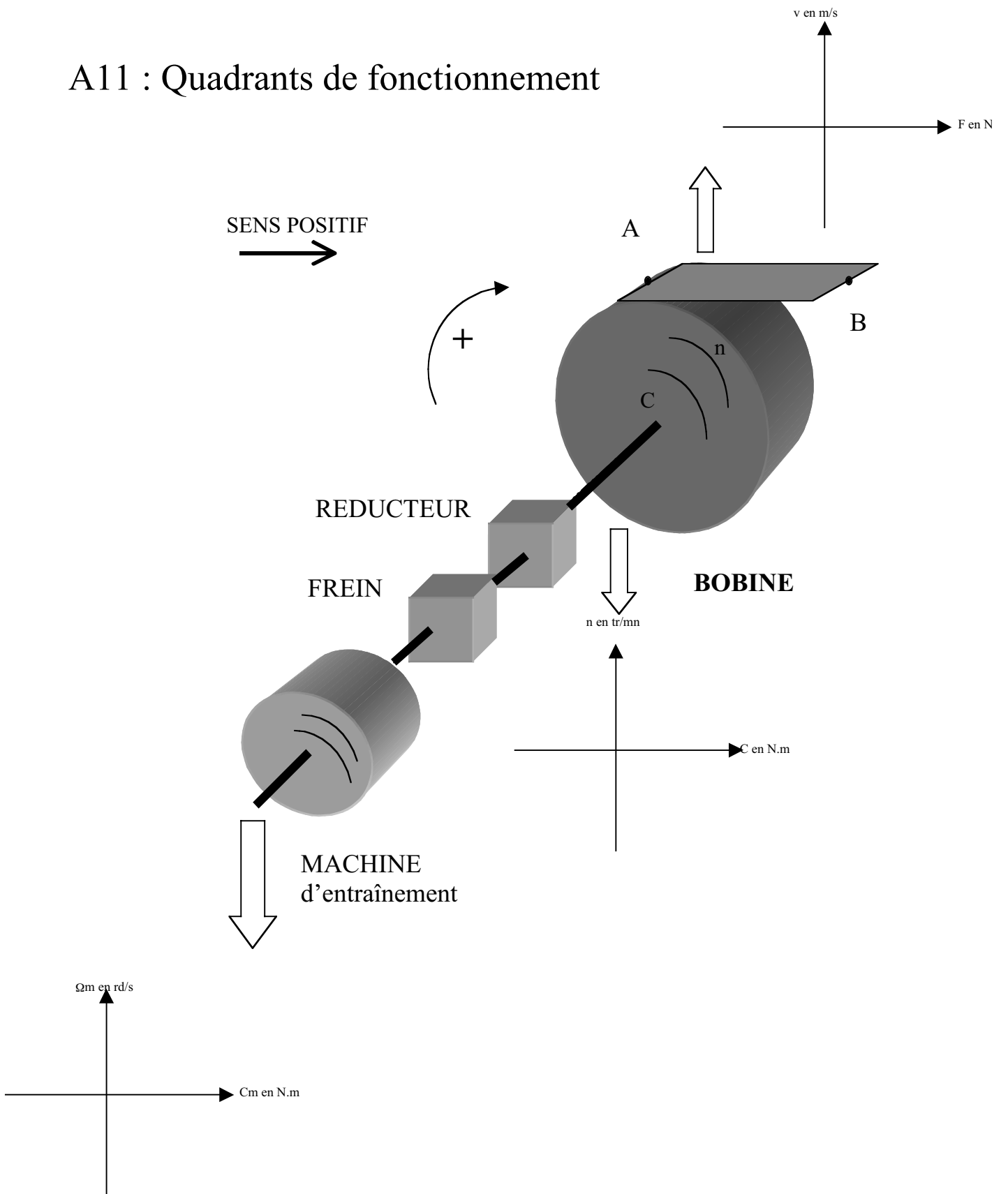
LIGNE DE LAQUAGE

DOCUMENTS REPONSES

Ce dossier contient:

- Les documents réponses de la partie A (1/15 à 8/15),
- Les documents réponses de la partie B (9/15 à 13/15),
- Les documents réponses de la partie C (14/15 à 15/15).

A11 : Quadrants de fonctionnement



A13

Dimensionnement

Questions	Formules	Valeurs et signe
Donner la traction T en N / mm		
Calculer F en N		
Donner v en m / s		
Calculer la puissance utile de la charge		
Donner le Rayon mini et maxi en m		
Calculer la vitesse mini de la bobine en rd / s et en tr / mn		
Calculer la vitesse maxi de la bobine en rd / s et en tr / mn		
Donner le couple maxi de la charge en $Nm . C r$ maxi		
Donner la raison (rapport de réduction) du réducteur		
Calculer la vitesse mini de la machine en rd / s et en tr / mn		
Calculer la vitesse maxi de la machine en rd / s et en tr / mn		
Donner le rendement du réducteur		
Calculer le couple machine maxi en $Nm . C r m$ maxi		
Calculer la puissance mécanique fournie ou restituées au réseau en W		
Puissance théorique maxi en W		

A.2 Calcul des inerties

1. Montrer l'expression des inerties ramenées sur l'arbre moteur en partant des énergies cinétiques avant et après un réducteur.

2. Calcul des accélérations angulaires de l'arbre moteur.

Donner l'expression de l'accélération γ_m de l'arbre moteur en fonction de : dv/dt l'accélération de la bande, le rayon de la bobine R et la raison du réducteur r.

3. Calculs des inerties Masse bobine pleine 18 t (sans mandrin) .

Donner tous les calculs pour chaque colonne.

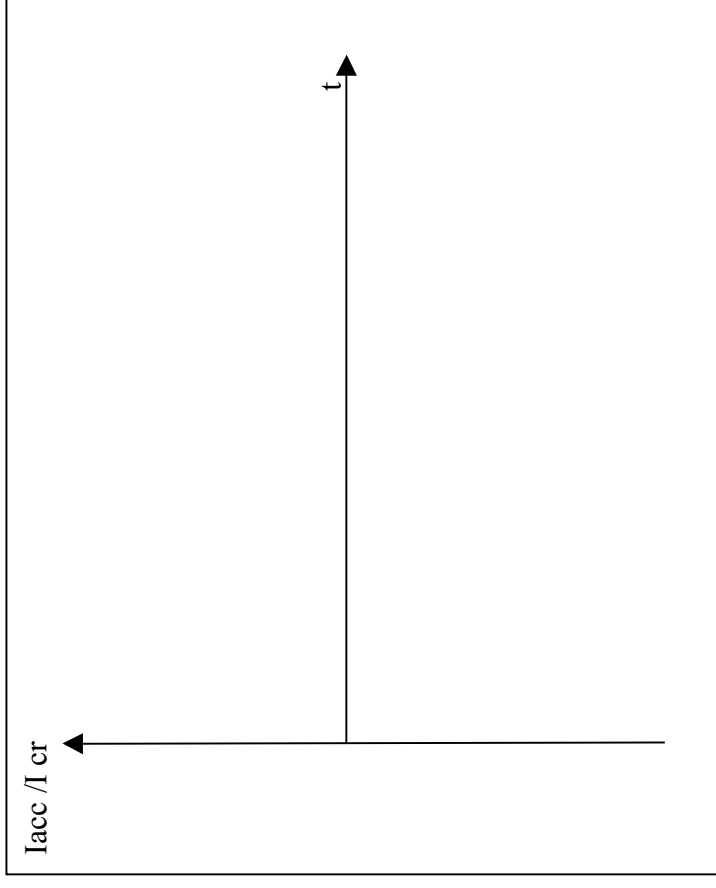
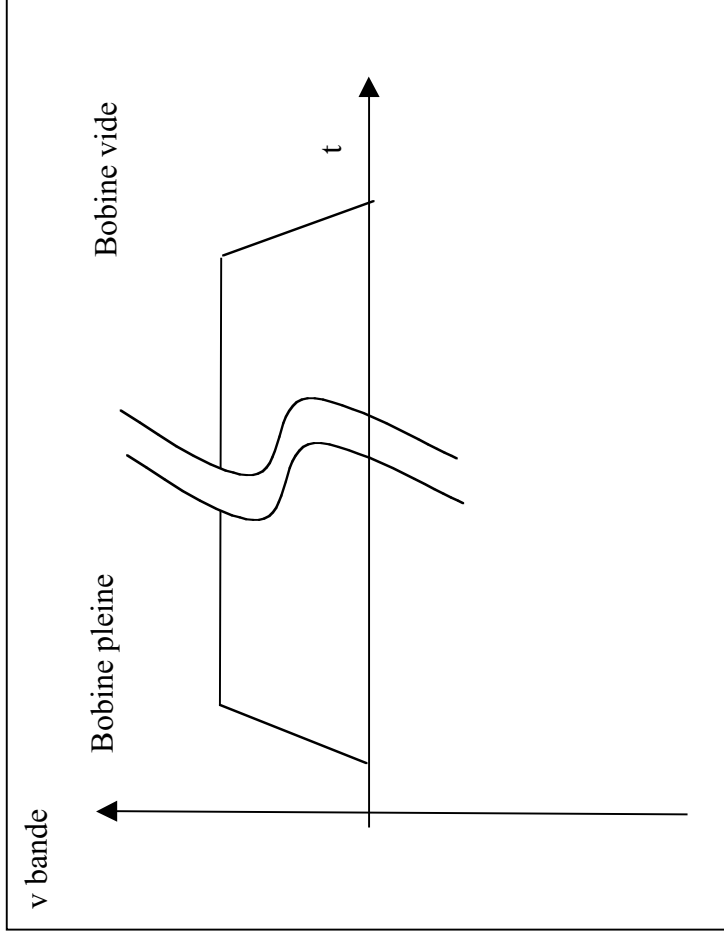
L'indice b indique que l'on se trouve sur la bobine et l'indice m indique les couples ou les inerties qui sont ramenés sur l'arbre moteur
Attention : La largeur de la bobine dépend de la masse maximale de 18 t.

Charge				Arbre moteur								
R en m	Largeur bande en m	Jb en kgm	Rapport de réduction	J moteur (1 ^{er} choix) kgm	Jmandrin m kgm	Jb m kgm	Jréd m kgm	Jfrein m kgm	J totale m kgm	γ accél m	C acc m (Jd Ω / dt)	C déc m
0.254	1.52		23.94		0.135		0.25	0.65				
0.707			23.94		0.135		0.25	0.65				
0.9			23.94		0.135		0.25	0.65				

Charge			Arbre Moteur			
F bobine sur la dérouleuse en N	Cr de la bobine en Nm	Rendement du réducteur	Rapport de réduction	Cr m en Nm	$\frac{Cr_m + Cac_m}{Cr_m}$ en %	$\frac{Cr_m + Cde_m}{Cr_m}$ en %
		0.95	23.94			
		0.95	23.94			
		0.95	23.94			

A2

4. Tracer les courbes des couples accélérateurs, décélérateurs et résistant sur l'arbre machine et en déduire l'allure des courants absorbés par la MCC. (I cr courant absorbé à vitesse constante sous le couple résistant)



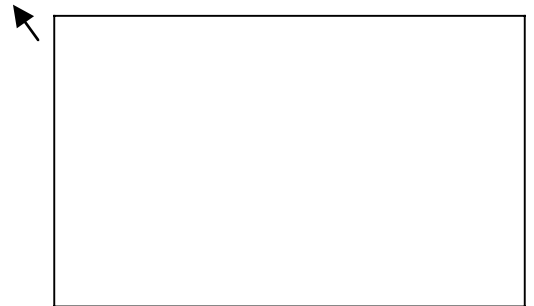
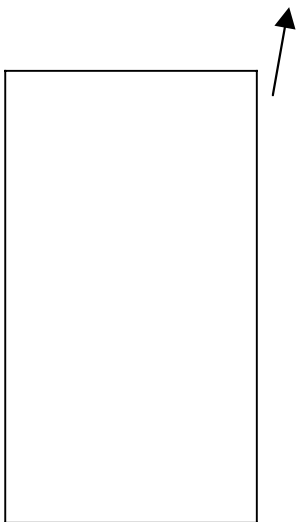
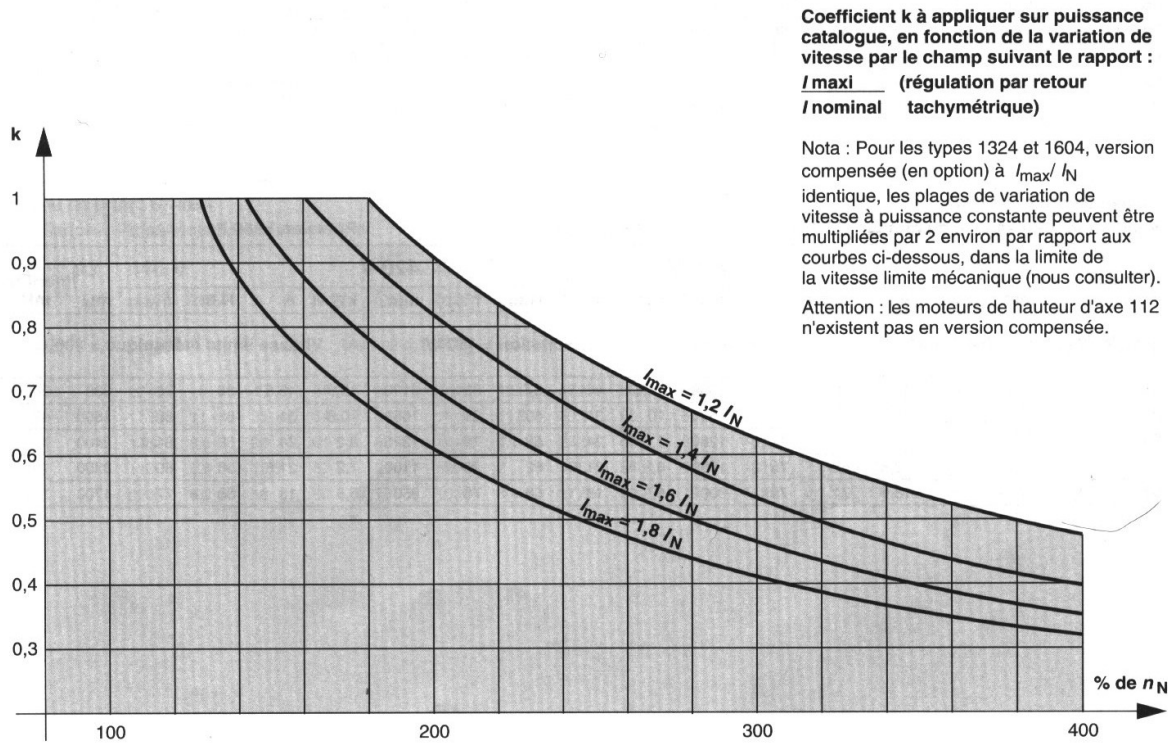
5. Donner la surcharge pendant la phase d'accélération et de décélération pour le courant absorbé :

Donner le cas le plus défavorable.

Devons nous prendre en compte ces phases d'accélération et décélération pour le choix de la machine ?

A33

Correction de puissance en fonction de la variation de vitesse par la champ:

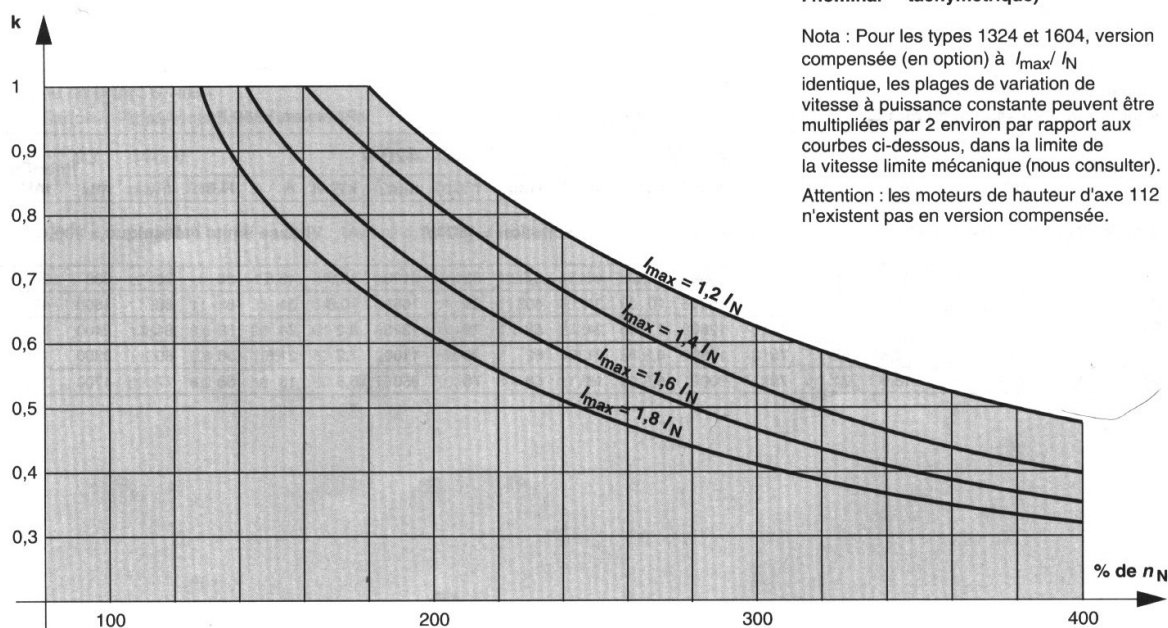


A34

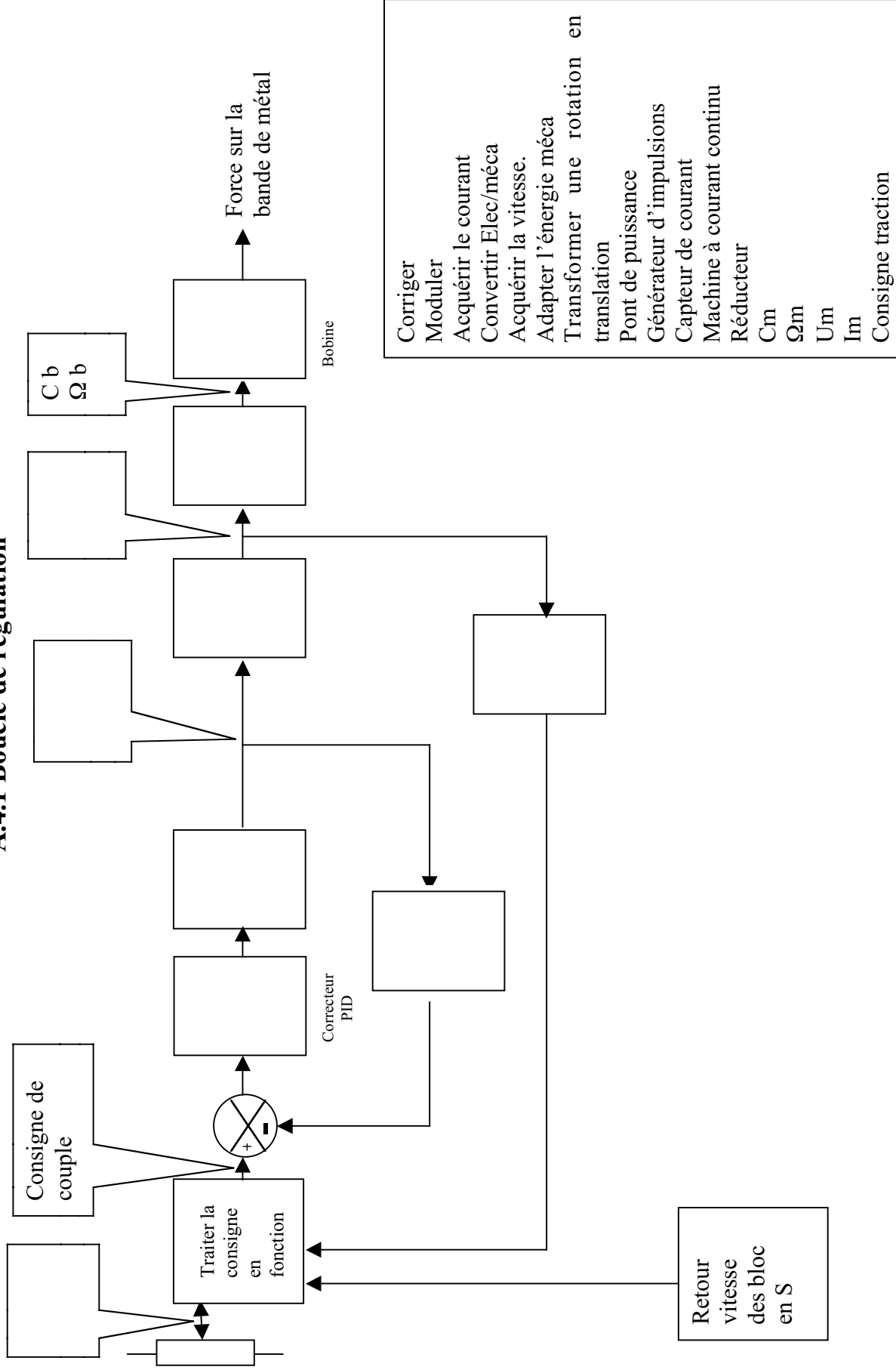
Correction de puissance en fonction de la variation de vitesse par la champ:

Coefficient k à appliquer sur puissance catalogue, en fonction de la variation de vitesse par le champ suivant le rapport :
 $\frac{I_{max}}{I_{nominal}}$ (régulation par retour tachymétrique)

Nota : Pour les types 1324 et 1604, version compensée (en option) à I_{max}/I_N identique, les plages de variation de vitesse à puissance constante peuvent être multipliées par 2 environ par rapport aux courbes ci-dessous, dans la limite de la vitesse limite mécanique (nous consulter).
Attention : les moteurs de hauteur d'axe 112 n'existent pas en version compensée.



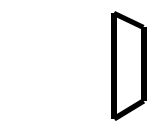
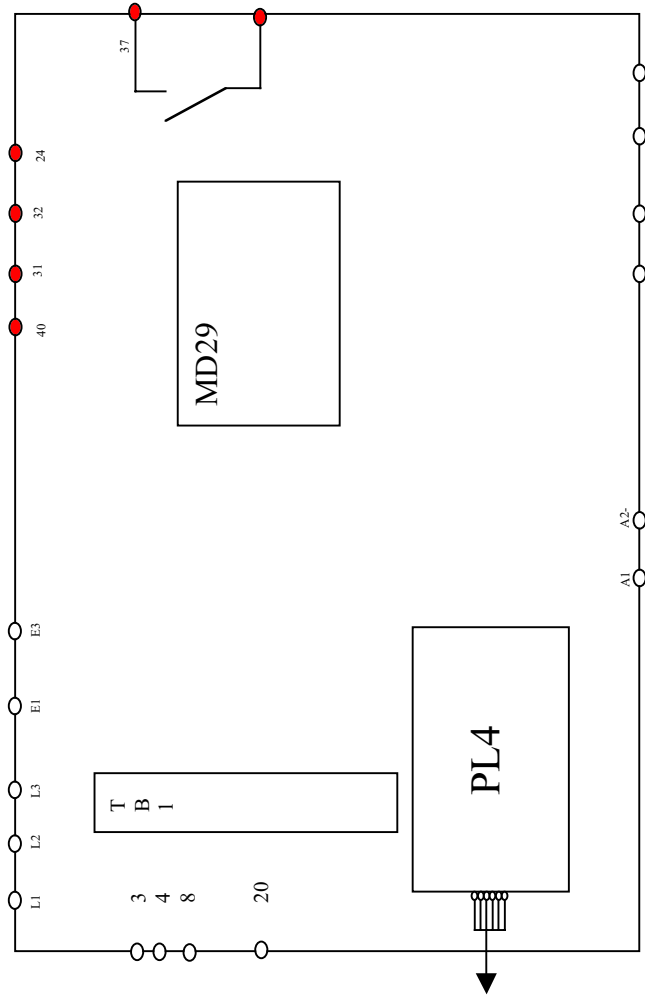
A.4.1 Boucle de régulation



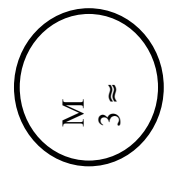
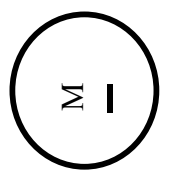
A.5.1.2
8/15



L1
L2
L3



Sonde
thermique



B.1.1.

Item	Désignation	P nécessaire	Référence moteur	Pu nom moteur	η	Cos φ	Pa kW	Qa kVAR	
860	Hydraulique Entrée								
	• MCA01	30	LS280 ST/4	75	0,90	0,78	33	26,5	
	• MCA02	30	LS280 ST/4	75	0,90	0,78	33	26,5	
	• MCA03	4	LS160 M/4	11	0,86	0,8	5	4	
	Cannes chauffantes (résistances pures)	5					5	0	
TOTAL ITEM 860 =									
861	Idem 860	<i>Reprendre le total Item 860</i>							
530	Traitement de surface	3,7	LS112 M/4	4	0,82	0,78	4,5	3,5	
	Pompe principale	37	LS225 ST/4	37	0,905	0,86	41	24,5	
	Pompe auxiliaire	37	LS225 ST/4	3737	0,905	0,86	41	24,5	
	Refroidissement	0,2	LS63 L/4	0,25	0,61	0,73	0,3	0,3	
Puissances absorbées totales pour le départ Q1 :							240	170	

Note: Pa et Qa représentent les puissances actives et réactives absorbées réellement.

B.1.2.

Que représente le facteur d'utilisation k_u ?

- Puissance utile nominale du moteur agrafeuse (document technique partie B page 2) : **$P_{un3} =$**
- Rendement du moteur agrafeuse : **$\eta =$**
- Facteur de puissance du moteur agrafeuse : **$\cos\varphi =$**
- Puissance active réellement absorbée : **$P_3 =$**
Puissance réactive réellement absorbée : **$Q_3 =$**

Pour les départs associés à Q4 et Q5, prendre un facteur de puissance de 0,95.

- Calibre disjoncteurs Q4 et Q5 (document technique partie B page 2) : **$I_{dij} =$**
- Courant d'emploi considéré compte tenu du fait que la puissance appelée n'exède pas 50 % du maximum installé : **$I_4 = I_5 =$**
- Puissances actives réellement absorbées par les départs Q4 et Q5 : **$P_4 = P_5 =$**
- Puissances réactives réellement absorbées par les départs Q4 et Q5 : **$Q_4 = Q_5 =$**

B.1.3.

Comment se fait-il que la puissance totale P_{BCNC} soit inférieure à la somme des puissances mentionnées sur le document technique partie B page 5 ?

Calculez la valeur de la puissance réactive absorbée : $Q_{BCNC} =$

B.1.4.

Que représente le facteur de simultanéité ks ?

Départ	Pa (kW)	Qa (kVAR)	Coefficient de simultanéité ks global	Puissance active totale	Puissance réactive totale	
Q1			0,85			
Q3						
Q4						
Q5						
Direct	BCNC	230				
	BCNA	443		245		
Totaux=						

$S_2 =$

- Type de transformateur choisi :
- Puissance normalisée du transformateur :

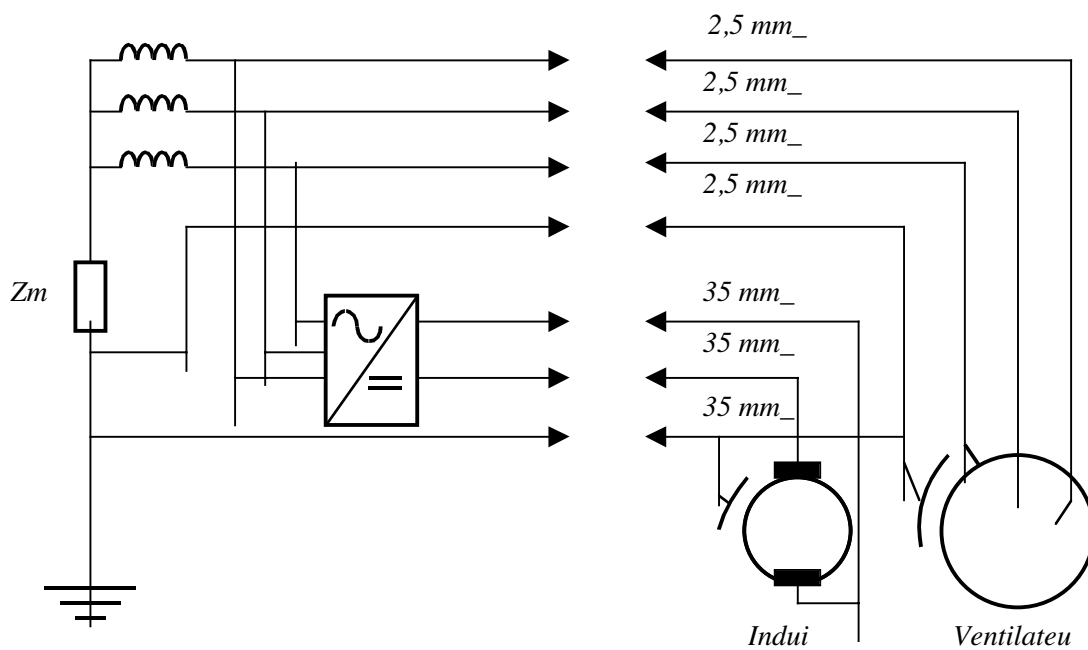
B.2.3.

Item	Eléments du schéma	Description	Résistances (m Ω)	Réactances (m Ω)
1	Transformateur	Voir sujet		
2	Câble TR1-JdB1 (unipolaires jointifs)	2*630 mm_/ph l=5 m		
3	JdB1	3*100*5 mm/ph l=3 m		
4	Câble JdB1-JdB2 (unipolaires jointifs)	2*630 mm_/ph l=15 m		
5	JdB2	2*80*5mm/ph l=10 m		
		Totaux		

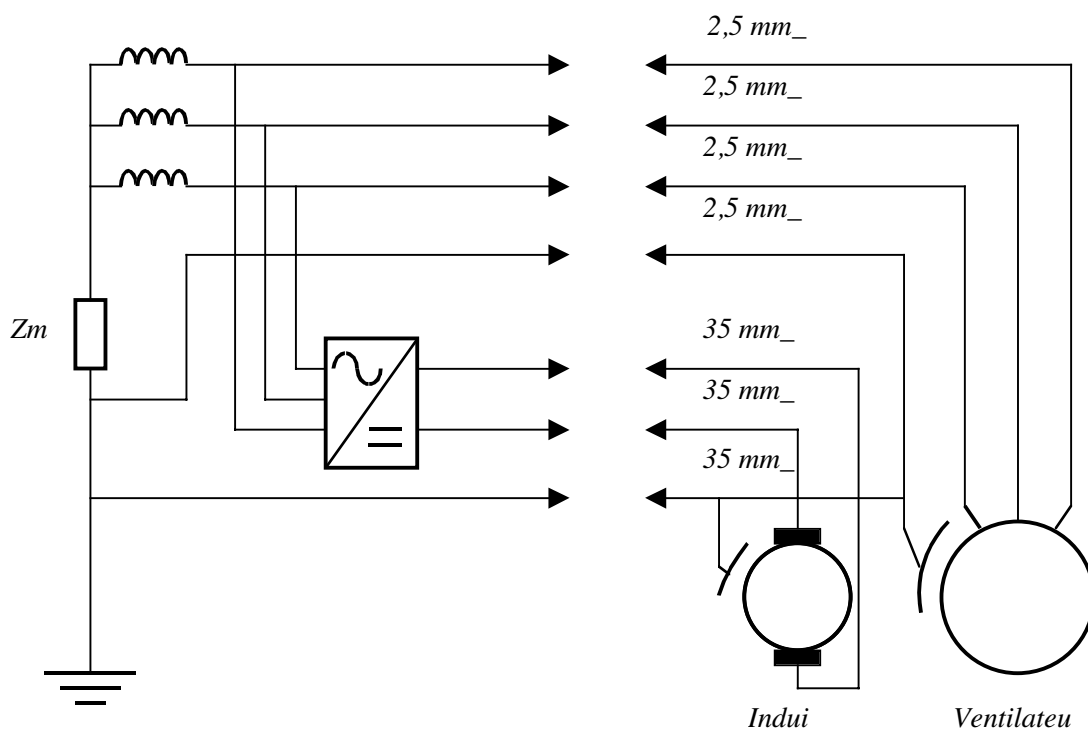
Critères de choix du disjoncteur :

Choix effectué :

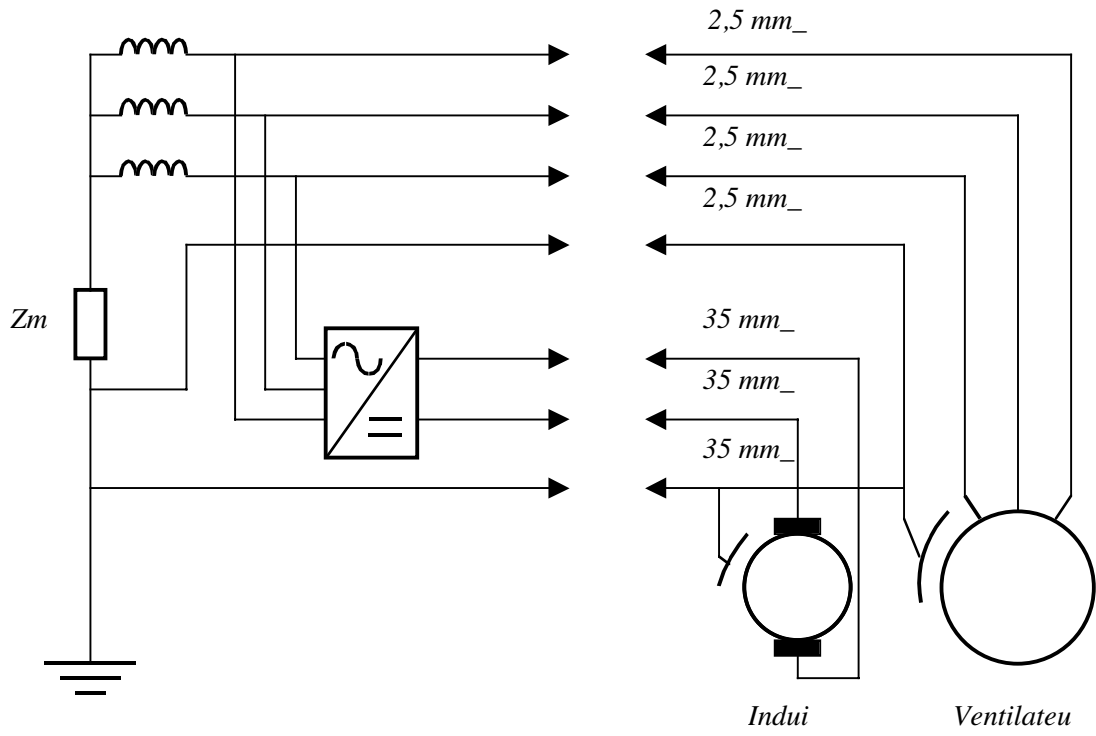
B.3.1.



B.3.2.



B.3.3.



C.2.2.

Calcul de Ts:

	α	K	Ts	Ts min autorisé	T s correspondant	Ts max autorisé	Ts correspondant
SIT							
VIT							
EIT							

Paramétrage du relais RMS771:

Pas	Paramètre	Valeurs possibles	Signification	Commentaire	Votre réglage
<i>0</i>	<i>Moyenne des courants mesurés unité 1</i>		<i>Courant primaire</i>	<i>En kA</i>	
<i>1</i>	<i>Rapport TC ou tore unité 1</i>	<i>2-2500</i>		<i>Sans unité</i>	
<i>2</i>	<i>Type courbe seuil bas unité 1</i>	<i>0,I,II,III</i>	<i>0 Temps indépendant I Inverse II Très inverse III Extrêmement inverse</i>		
<i>3</i>	<i>Seuil bas unité 1</i>	<i>0,5 à 4 In</i>	<i>Sur TC phase</i>	<i>Pas 0,1 In</i>	
<i>4</i>	<i>Tempo seuil bas unité 1</i>	<i>0,1 à 3 s 3 s à 30 s</i>	<i>Courbes 0, I, II, III Courbe 0 seulement</i>	<i>Pas 0,05 s Pas 0,5 s</i>	
<i>5</i>	<i>Seuil haut unité 1</i>	<i>1 à 25 In</i>	<i>Sur TC phase</i>	<i>Pas 0,1 In de 1 à 2,5 In et 0,5 In au-delà</i>	
<i>6</i>	<i>Tempo seuil haut unité 1</i>	<i>0 0,1 à 3 s</i>	<i>Instantané (55 ms) Temporisé</i>	<i>Pas 0,05 s</i>	
1	Rapport TC ou tore unité 2	2-2500		Sans unité	
2	Type courbe seuil bas unité 2	0,I,II,III	0 Temps indépendant I Inverse II Très inverse III Extrêmement inverse		
3	Seuil bas unité 2	0,05 à 0,4 In 1-8 A 5-40 A	Sur TC conn. résiduelle Sur tore 100 sp. Sur tore 100 sp.	Pas 0,01 In Pas 0,2 A Pas 1 A	
4	Tempo seuil bas unité 2	0,1 à 3 s 3 s à 30 s	Courbes 0, I, II, III Courbe 0 seulement	Pas 0,05 s Pas 0,5 s	
5	Seuil haut unité 2	0,1 à 2,5 In 5-40 A 10-250 A	Sur TC conn. résiduelle Sur tore 100 sp. Sur tore 100 sp		
6	Tempo seuil haut unité 2	0 0,1 à 3 s	Instantané (55 ms) Temporisé	Pas 0,05 s	
E	Affectation des unités de sortie	1 2	A sur seuils bas, B sur seuils hauts A sur unité phase, B sur unité homopolaire		
H	Fréquence nominale	50-60		En Hz	

Ne pas remplir les sept premières lignes du tableau (en gras et en italique)