

Brevet de technicien supérieur

ÉLECTROTECHNIQUE

E4 - CONCEPTION – ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Durée : 4 heures

Coefficient : 5

Matériel autorisé :

- l’usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé,
- l’usage de calculatrice sans mémoire « type collègue » est autorisé.

Documents à rendre avec la copie :

- le candidat répondra sur le dossier réponses et des feuilles de copie ;
- le dossier réponses est à rendre agrafé au bas d’une copie.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu’il est complet.
Le sujet comporte quatre dossiers :

- le dossier **présentation – questionnaire** qui se compose de 13 pages, numérotées de 1/13 à 13/13 ;
- le dossier **technique** qui se compose de 9 pages, numérotées de 1/9 à 9/9 ;
- le dossier **ressources** qui se compose de 7 pages, numérotées de 1/7 à 7/7 ;
- le dossier **réponses**, à rendre avec la copie qui se compose de 5 pages, numérotées de 1/5 à 5/5.

Il sera tenu compte de la qualité de la rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le correcteur attend des phrases construites respectant la syntaxe de la langue française. **Chaque réponse sera clairement précédée du numéro de la question à laquelle elle se rapporte.**

Les notations du texte seront scrupuleusement respectées.

BTS ÉLECTROTECHNIQUE	Session 2024
Épreuve E4 : Conception – Étude préliminaire	Code : 24EQCEPME1

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR ÉLECTROTECHNIQUE

Épreuve E4 CONCEPTION – ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Session 2024

ENTREPRISE STRATUS PACKAGING



PRÉSENTATION - QUESTIONNEMENT

PRÉSENTATION GÉNÉRALE	2
PARTIE A : TAUX DE CHARGE DU TRANSFORMATEUR.....	4
PARTIE B : ALIMENTATION DE LA LIGNE D'IMPRESSION A30	6
PARTIE C : MOTORISATION DU DÉROULEUR 1 EN ENTRÉE DE LA LIGNE A30	9
PARTIE D : RÉGULATION DE LA POSITION DE LA TIGE DU VERIN DU « PANTIN » ..	11
PARTIE E : BILAN ÉCONOMIQUE	13

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Le groupe Stratus Packaging, un des leaders européens de l'étiquetage industriel, intègre l'ensemble des solutions d'habillage des produits :

- étiquettes adhésives ;
- manchons thermorétractables (sleeves) ;
- « In Mould Label », étiquette placée dans le moule au moment de l'injection, du soufflage ou du thermoformage. Elle fusionne alors avec la matière et forme un tout avec l'emballage.



Exemples de produit étiquetés



Étiquettes prêtes à l'envoi

Le groupe Stratus Packaging propose des solutions adaptées aux marchés de l'agroalimentaire, de l'industrie chimique, de la cosmétique et du secteur pharmaceutique.

Dans le cadre de son extension, la société décide de moderniser (« rétrofit ») une ancienne ligne d'impression d'étiquettes, afin d'en améliorer les performances.

L'**enjeu** de la présente étude est de réussir l'**intégration** et la **modernisation** de cette ligne d'impression appelée **ligne A30**.

Premier objectif : assurer l'intégration au réseau électrique de l'entreprise de la nouvelle ligne d'impression A30 à partir du tableau général basse tension (TGBT) existant.

L'alimentation en énergie électrique est assurée par un transformateur de distribution HTA / BT (triphase 400 V + neutre) de 800 kVA.

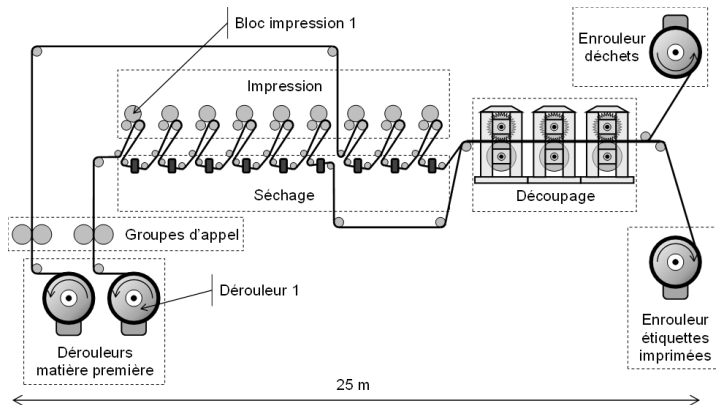
L'entreprise souhaite maintenir le taux de charge du transformateur inférieur à 75 % après l'intégration de la nouvelle ligne d'impression A30. À cet effet, l'installation d'un système de compensation d'énergie réactive a été envisagée.

La nouvelle ligne d'impression A30 sera alimentée à partir d'un départ ajouté dans le TGBT existant.

Deuxième objectif : réaliser la modernisation (« rétrofit ») de la nouvelle ligne d'impression A30.

La ligne d'impression A30 est composée des éléments suivants :

- deux dérouleurs de matières premières vierges ;
- deux groupes d'appel permettant de mettre en mouvement la matière première ;
- des blocs d'impression et de séchage ;
- des blocs de découpage ;
- des enrouleurs pour les étiquettes finalisées et pour les déchets.



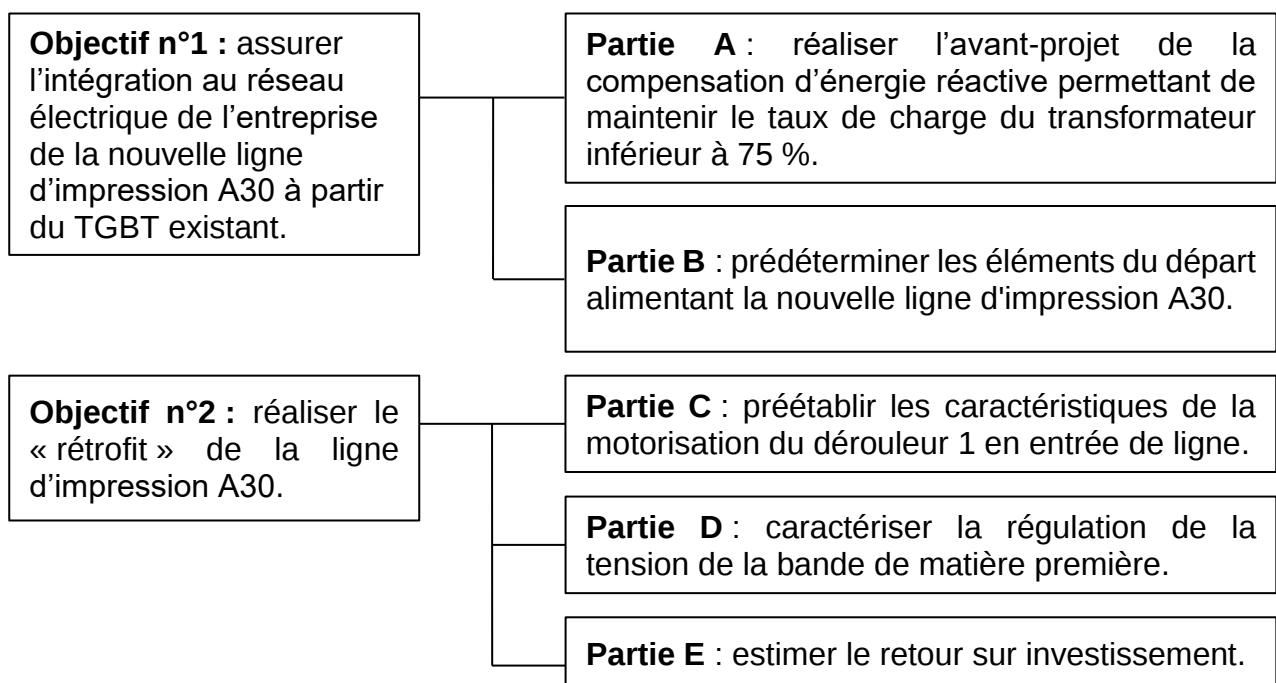
Le document technique **DTEC 1** représente le synoptique de la ligne A30.

Le « rétrofit » de la ligne d'impression A30 consiste à :

- remplacer les anciennes motorisations (principalement des machines à courant continu) par des moteurs brushless ;
- concevoir la nouvelle armoire de commande ;
- réaliser la programmation de l'automatisme.

Objectifs de l'étude préliminaire

Le sujet a pour finalité de conduire une étude de conception préliminaire en relation avec les deux objectifs énoncés précédemment selon le plan représenté ci-dessous.



PARTIE A : TAUX DE CHARGE DU TRANSFORMATEUR

Cette partie porte sur l'avant-projet permettant de maintenir un taux de charge du transformateur de distribution inférieur à 75 %, tout en assurant la protection des personnes.

Documents :

- DTEC 2 : cahier des charges (2 pages) ;
- DTEC 3 : extrait du schéma du TGBT ;
- DRES 1 : caractérisation de la compensation d'énergie réactive (2 pages).

Taux de charge du transformateur de distribution après installation de la ligne d'impression A30

Avant l'extension prévue (nouvelle ligne d'impression A30 et compensation), des mesures de puissances ont été réalisées au secondaire du transformateur de distribution. Un bilan de puissance a également permis d'évaluer la puissance consommée par la nouvelle ligne d'impression A30 (départ 14). L'ensemble de ces valeurs est indiqué dans le **DREP 1**.

La puissance déformante **ne sera pas** prise en compte lors de cette étude.

- A.1. Compléter** le document réponse **DREP 1** afin de déterminer les puissances active P_T et réactive Q_T au secondaire du transformateur après extension. **Justifier** ces valeurs en indiquant les calculs correspondants sur la copie.
- A.2.** À partir des valeurs de P_T et de Q_T , **déduire** la puissance apparente S_T au secondaire du transformateur après extension.
- A.3.** À partir des caractéristiques du transformateur de distribution (voir **DTEC 3**), **calculer** le taux de charge T_{ch} du transformateur après la mise en service de la nouvelle ligne d'impression A30.
Conclure sur ce taux de charge au regard de la valeur 75 % imposée par le cahier des charges.

Caractéristiques du système de compensation d'énergie réactive

Afin de respecter le taux de charge, il est décidé d'installer un système de compensation d'énergie réactive (départ 15).

Le document ressource **DRES 1** permet de dimensionner les caractéristiques d'un système de compensation.

- A.4.** À partir du document technique **DTEC 3** et du document ressource **DRES 1**, **indiquer** dans quelle zone le système de compensation d'énergie réactive est prévu d'être implanté.
- A.5.** Parmi les avantages cités dans le document ressource **DRES 1**, **relever** celui qui permet de répondre à la demande du cahier des charges.
- A.6. Calculer** la puissance réactive Q_c que doit fournir le système de compensation à installer afin de respecter la donnée du cahier des charges $\tan \varphi' = 0,4$.

Pour la suite de l'étude, la puissance du système de compensation installé Q_{Cinst} sera majorée et considérée égale à **125 kvar**.

- A.7.** La puissance apparente G_h des récepteurs produisant des harmoniques est estimée à **250 kVA**. **Déterminer**, en le justifiant :
 - le mode de compensation ;
 - le type de condensateurs.

Une fois le système de compensation installé, lorsque l'installation est en pleine puissance, on estime que $P_T' = 565 \text{ kW}$ et $Q_T' = 200 \text{ kvar}$.

- A.8. Déterminer** le nouveau taux de charge T_{ch}' du transformateur.
Vérifier que ce taux de charge T_{ch}' est cohérent avec le cahier des charges.

Protection des personnes contre les contacts indirects

Une étude préliminaire a permis de déterminer les caractéristiques suivantes concernant le départ 15 (alimentation du système de compensation d'énergie réactive) :

- disjoncteur Q15 → calibre : **250 A** ;
- câble C15 → section minimale : **95 mm²** en cuivre – longueur **25 m** ;
 section des conducteurs de phase et de PE identiques.

- A.9. Donner** la signification des lettres TNS du schéma de liaison à la terre de l'installation.

- A.10.** À l'aide du tableau suivant issu de la norme NF C 15-100, **relever** le temps de coupure maximal t_{CMAX} du dispositif de protection en cas de contact indirect.

Selon la tension nominale entre phase et neutre U_0 , le temps de coupure maximal (en secondes) du tableau ci-dessous doit être appliqué à tous les circuits terminaux.								
	$50 \text{ V} < U_0 \leq 120 \text{ V}$		$120 \text{ V} < U_0 \leq 230 \text{ V}$		$230 \text{ V} < U_0 \leq 400 \text{ V}$		$U_0 > 400 \text{ V}$	
Temps de coupure (s)	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu	Alternatif	continu
Schéma TN ou IT	0,8	5	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
Schéma TT	0,3	5	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

- A.11. Représenter**, sur le document réponse **DREP 2**, le parcours du courant de défaut I_d lors d'un défaut d'isolement franc intervenant entre la phase 3 et les masses métalliques du système de compensation d'énergie réactive.

D'après la norme NF C 15-100, l'expression de la valeur efficace I_d de l'intensité du courant de défaut, pour un schéma de liaison à la terre TNS, est :

$$I_d = \frac{0,8 \times V}{R_{PH} + R_{PE}} \quad \text{avec } \begin{array}{l} V : \text{tension simple en charge} \\ R_{PH} : \text{résistance d'un conducteur de phase} \\ R_{PE} : \text{résistance du conducteur PE} \end{array}$$

- A.12. Calculer** la valeur efficace I_d de l'intensité du courant de défaut, en prenant en compte la résistivité du cuivre $\rho = 0,023 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

Pour la suite, on admettra que la valeur efficace I_d du courant de défaut est de **15,5 kA**.

- A.13.** Sur le document réponse **DREP 3**, **positionner** le point correspondant à ce courant de défaut sur l'axe des abscisses de la courbe de déclenchement du disjoncteur de protection Q15 réglé à $I_r = 250 \text{ A}$.

Déterminer le temps de déclenchement de Q15 et **conclure** sur la protection des personnes, en se référant au résultat de la question **A.10**.

PARTIE B : ALIMENTATION DE LA LIGNE D'IMPRESSION A30

Cette partie consiste à prédéterminer les caractéristiques du départ 14 alimentant la nouvelle ligne d'impression A30.

Documents :

- DTEC 2 : cahier des charges (2 pages) ;
- DTEC 3 : extrait du schéma du TGBT ;
- DRES 2 : introduction à la filiation ;
- DRES 3 : détermination de la section minimale des conducteurs.

Courant de court-circuit présumé I_{ccA}

On rappelle que la valeur efficace I_{cc} de l'intensité du courant de court-circuit présumé au secondaire d'un transformateur peut être estimée par :

$$I_{cc} = \frac{I_n \times 100}{U_{cc}} \quad \text{avec } I_n : \text{valeur efficace de l'intensité du courant nominal au secondaire}$$

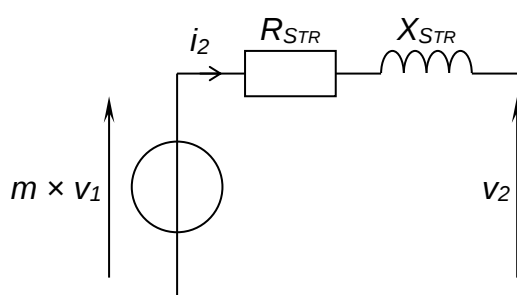
U_{cc} : tension de court-circuit exprimée en %

Les valeurs de I_n et de U_{cc} sont indiquées sur l'extrait du schéma du TGBT.

B.1. Calculer la valeur efficace I_{ccA} de l'intensité du courant de court-circuit présumé au secondaire du transformateur.

Courant de court-circuit présumé I_{ccB}

La détermination de I_{ccB} nécessite de connaître les éléments du schéma équivalent d'une phase du transformateur triphasé donné ci-dessous :



R_{STR} : résistance des enroulements d'une phase du transformateur ramenée au secondaire

X_{STR} : réactance de fuite des enroulements d'une phase du transformateur ramenée au secondaire

m : rapport de transformation.

B.2. Calculer le rapport de transformation m .

Afin de déterminer la valeur de la résistance R_{STR} , un essai sur charge résistive ($\cos \varphi_2 = 1$) a été réalisé. Les mesures de cet essai sont données ci-dessous :

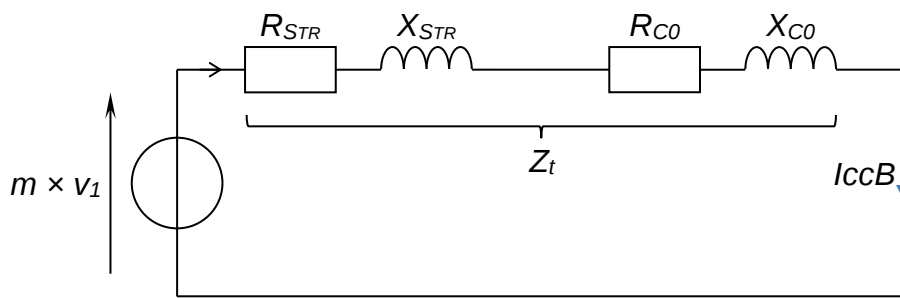
- la chute de tension ΔV_2 est égale à **2,03 V** ;
- la valeur efficace de l'intensité du courant secondaire i_2 est égale à sa valeur nominale I_n .

L'expression de la chute de tension, en fonction de la valeur du déphasage φ_2 de la tension simple v_2 par rapport au courant i_2 , est définie par l'expression suivante :

$$\Delta V_2 = R_{STR} \times I_2 \times \cos \varphi_2 + X_{STR} \times I_2 \times \sin \varphi_2$$

B.3. En détaillant les calculs, **déterminer** la valeur de R_{STR} .

Le schéma de l'ensemble « transformateur - câble C_0 » en court-circuit est donné ci-dessous :



$$R_{STR} = 1,80 \text{ m}\Omega$$

$$X_{STR} = 8,20 \text{ m}\Omega$$

$$R_{C0} = 0,187 \text{ m}\Omega$$

$$X_{C0} = 0,690 \text{ m}\Omega$$

$$m = 0,0205$$

$$V_1 = 11,5 \text{ kV}$$

B.4. Montrer que l'impédance équivalente Z_t vaut **9,11 mΩ**.

I_{ccB} est la valeur efficace de l'intensité du courant de court-circuit présumé au niveau du disjoncteur Q_0 .

B.5. À partir du schéma équivalent, **déterminer** l'expression littérale de I_{ccB} .
Calculer sa valeur.

Pour la suite du sujet, la valeur efficace I_{ccB} de l'intensité du courant de court-circuit sera considérée égale à **28,0 kA**.

Caractéristiques du disjoncteur Q14

Une estimation des puissances relatives à la nouvelle ligne d'impression A30 a donné les résultats suivants :

- puissance active : $P_{A30} = 47,0 \text{ kW}$;
- puissance réactive : $Q_{A30} = 29,1 \text{ kvar}$;
- puissance déformante : $D_{A30} = 15,0 \text{ kVA}$.

B.6. Calculer la puissance apparente S_{A30} consommée par la ligne A30 à partir de ces estimations.

B.7. En **déduire** la valeur efficace I_{A30} de l'intensité du courant consommé par la ligne A30.

B.8. Parmi les valeurs standardisées suivantes, **donner**, en les justifiant, le calibre et le pouvoir de coupure qui permettront de dimensionner le disjoncteur **Q14** :

- calibre → 80 A – 100 A – 160 A – 250 A – 400 A
- pouvoir de coupure → 15 kA – 20 kA – 25 kA – 30 kA – 35 kA – 50 kA

Le cahier des charges demande de prendre en compte la technique de filiation dans la caractérisation des disjoncteurs.

B.9. Expliquer synthétiquement en quoi consiste la technique de filiation en précisant quel en est son principal avantage.

B.10. Indiquer le disjoncteur avec lequel Q14 devra être associé afin d'assurer sa caractérisation par la technique de filiation.

Section minimale des conducteurs de phase du câble C14

Données :

- âme en **cuivre** ;
- câble **multiconducteur** posé sur **chemin de câble perforé** ;
- isolant : **PR** ;
- température : **40°C** ;
- nombre total de câbles multiconducteurs dans la canalisation : **2** posés en **une seule couche** ;
- facteurs de correction : **K_n** et **K_s** égaux à **1** ;
- réglage de la protection thermique du disjoncteur **Q14** : **90 A**.

B.11. Compléter le document réponse **DREP 4**, afin de déterminer la valeur efficace I'_z de l'intensité du courant admissible corrigé (intensité fictive) que doit supporter un conducteur de phase.

B.12. Déterminer la section minimale d'un conducteur de phase en faisant clairement apparaître la démarche sur le document réponse **DREP 5** à l'aide de cercles et de flèches.

PARTIE C : MOTORISATION DU DÉROULEUR 1 EN ENTRÉE DE LA LIGNE A30

Cette partie permet de caractériser l'ensemble « moteur brushless - variateur » du dérouleur 1 en entrée de la ligne d'impression A30.

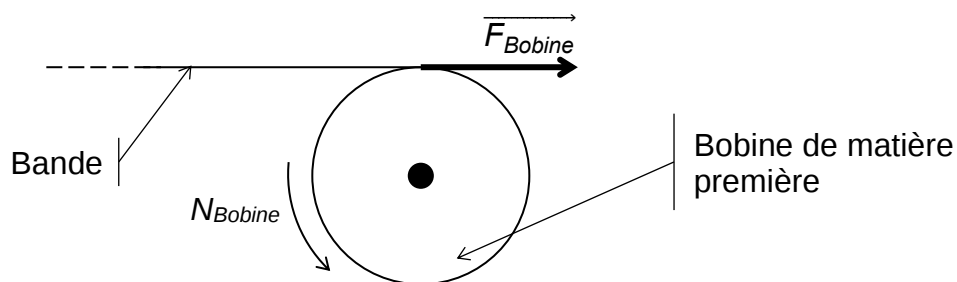
Documents :

- DTEC 1 : présentation de la nouvelle ligne d'impression A30 ;
- DTEC 2 : cahier des charges (2 pages) ;
- DTEC 4 : synoptique du dérouleur 1 et de son « pantin » (2 pages) ;
- DTEC 5 : synoptique prévisionnel des réseaux de communication de la ligne A30.

Afin de garder la bande de matière première correctement tendue, le moteur du dérouleur 1 (voir **DTEC 4**) exerce un couple résistant sur la bobine. Ce couple résistant engendre une force $\vec{F}_{\text{Bobine}}$ exercée par la bobine sur la bande de matière première. L'intensité maximale F_{Bobine} de cette force est égale à **200 N**.

La figure ci-dessous représente une vue simplifiée de la bobine du dérouleur 1 avec :

- la force $\vec{F}_{\text{Bobine}}$ appliquée par la bobine sur la bande ;
- la vitesse de rotation N_{Bobine} de la bobine.



Données :

- diamètre minimum d'une bobine de papier : $D_{b\text{MINI}} = 0,090 \text{ m}$;
- diamètre maximum d'une bobine de papier : $D_{b\text{MAXI}} = 1,016 \text{ m}$;
- rapport de réduction du réducteur : $r = 5$;
- rendement du réducteur (haut rendement) : $\eta_r = 93 \%$;
- vitesse linéaire maximale de déroulement de la bande : $V_{\text{MAX}} = 100 \text{ m/min}$;
- expression du moment du couple en sortie du réducteur : $C_{\text{Bobine}} = C_{\text{Moteur}} \times r \times \eta_r$.

Valeur maximale du couple du moteur

- C.1.** En considérant constante la force sur la bande $\vec{F}_{\text{Bobine}}$, **indiquer** comment évolue le moment du couple appliqué à la bobine quand son rayon diminue.
Calculer le moment maximal $C_{\text{Bobine MAX}}$ du couple en sortie du réducteur.
- C.2.** En **déduire** le moment du couple maximal $C_{\text{Moteur MAX}}$ que doit fournir le moteur.

Valeur maximale de la vitesse de rotation du moteur

- C.3.** En considérant constante la vitesse linéaire V_{MAX} de la bande, **indiquer** comment évolue la vitesse angulaire de rotation de la bobine Ω_{Bobine} quand son rayon R_b diminue.
Montrer que la vitesse angulaire maximale en sortie du réducteur $\Omega_{Bobine MAX}$ est égale à **37 rad/s**.
- C.4.** En **déduire** la vitesse de rotation maximale $N_{Moteur MAX}$ du moteur en tr/min.

Caractéristiques de la communication du variateur

Le variateur associé au dérouleur 1 doit pouvoir s'intégrer à l'environnement défini dans le synoptique prévisionnel des réseaux de la ligne d'impression A30.

- C.5.** **Identifier** le protocole de communication que doit intégrer le variateur afin qu'il puisse être piloté par l'API maître.
- C.6.** Parmi les trois topologies de réseau suivantes, étoile, bus ou anneau, **indiquer** celle mise en œuvre pour piloter les variateurs de la ligne d'impression.

PARTIE D : RÉGULATION DE LA POSITION DE LA TIGE DU VERIN DU « PANTIN »

Un vérin permet de gérer la tension de la bande de matière première.

En maintenant la position de la tige du vérin en position médiane, on s'assure que la tension de la bande de matière première reste constante.

Une vue détaillée de cet ensemble est proposée **DTEC 4**.

On se propose de caractériser une partie de la chaîne de régulation de la position de la tige du vérin.

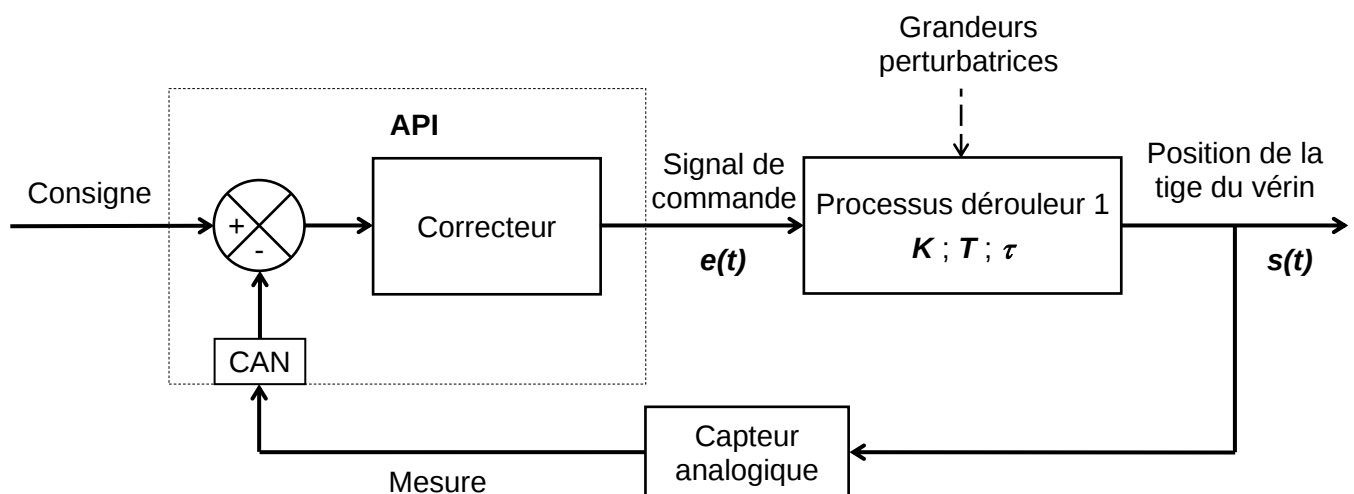
Documents :

- DTEC 2 : cahier des charges (2 pages) ;
- DTEC 4 : synoptique du dérouleur 1 et de son « pantin » (2 pages) ;
- DRES 4 : documentation du capteur de position de vérin MPS-256TSTU0 ;
- DRES 5 : modèle de Broïda.

La valeur de la tension de la bande est définie par un réglage manuel de la pression de l'air dans le corps du vérin.

L'API gère la régulation de la position de la tige du vérin en agissant sur le signal de commande qui pilote le variateur du moteur dérouleur 1.

La figure ci-dessous représente le schéma bloc simplifié de cette régulation.



Un capteur de position analogique monté sur un des vérins permet d'envoyer l'image de la position de la tige de ce vérin sur l'entrée analogique de l'API.

Un convertisseur analogique-numérique (CAN) associé à l'entrée analogique permettra le traitement numérique de l'information de position de la tige du vérin.

Signal de mesure de la position de la tige du vérin

Le capteur de position (type MPS-256TSTU0) existant sur la ligne d'impression A30 sera conservé lors du « rétrofit ».

- D.1. Relever** les deux types de signaux disponibles en sortie du capteur de position. **Spécifier**, en le justifiant, le signal permettant de détecter une rupture de la liaison électrique entre le capteur et la carte d'entrée analogique de l'API.

La précision de la mesure dépend du nombre de bits du CAN de la carte d'entrée analogique de l'API. On souhaite déterminer les caractéristiques de cette carte.

- D.2. Relever** la longueur de la plage de mesure du capteur de position.
- D.3. Calculer** le nombre minimum de points de mesure permettant de respecter la précision indiquée dans le cahier des charges.
- D.4. Justifier** que l'utilisation d'une carte d'entrée analogique API, dont le CAN code l'information sur 15 bits, permet d'obtenir une précision compatible avec le cahier des charges.

Type de régulateur

On souhaite déterminer les paramètres de la régulation afin de satisfaire les performances définies dans le cahier des charges.

Le système à réguler peut être assimilé à un système du **1^{er} ordre avec retard**.

Le relevé de la sortie **$s(t)$** du système pour un échelon d'entrée **Δe** de **10 %** de l'échelle de commande est donné document réponse **DREP 6**.

- D.5.** Sur la partie zoomée du document **DREP 6**, **réaliser**, à l'aide de la **méthode de Broïda**, la construction graphique permettant de déterminer **t_1** et **t_2** .
Déterminer Δs , t_1 et t_2 .
- D.6. Montrer** que les valeurs des paramètres du système sont les suivantes :
- gain statique : **$K = 0,5$** ;
 - retard : **$T_r = 0,16$ s** ;
 - constante de temps : **$\tau = 1$ s**.
- D.7.** À partir des résultats précédents, **justifier** que le correcteur choisi soit de type **PI**.

PARTIE E : BILAN ÉCONOMIQUE

Cette partie permet d'estimer le retour sur investissement du « rétrofit » à réaliser.

Documents :

- DTEC 2 : cahier des charges (2 pages) ;
- DTEC 6 : données économiques.

Tous les montants seront exprimés en **prix HT**.

Coût de l'investissement du « rétrofit » de la ligne A30

- E.1. Calculer** le coût total D_T de l'investissement (matériel + réalisation) nécessaire au « rétrofit » de la ligne A30.

Économie financière suite au « rétrofit » de la ligne A30

- E.2. Calculer** l'économie financière F_A réalisée suite au gain énergétique sur une année sans tenir compte d'éventuels arrêts pour maintenance.
- E.3. Calculer** l'économie financière F_B réalisée suite à la diminution du nombre d'heures d'arrêt de la ligne d'impression sur une année.
- E.4. En déduire** l'économie financière totale F_T estimée sur une année suite au « rétrofit » de la ligne.

Retour sur investissement (RSI) du « rétrofit » de la ligne A30

- E.5. Calculer** le retour sur investissement RSI de ce « rétrofit ».
- Vérifier** si la valeur du RSI est compatible avec les attentes de l'entreprise spécifiées dans le cahier des charges.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ÉLECTROTECHNIQUE

Épreuve E4

CONCEPTION – ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Session 2024

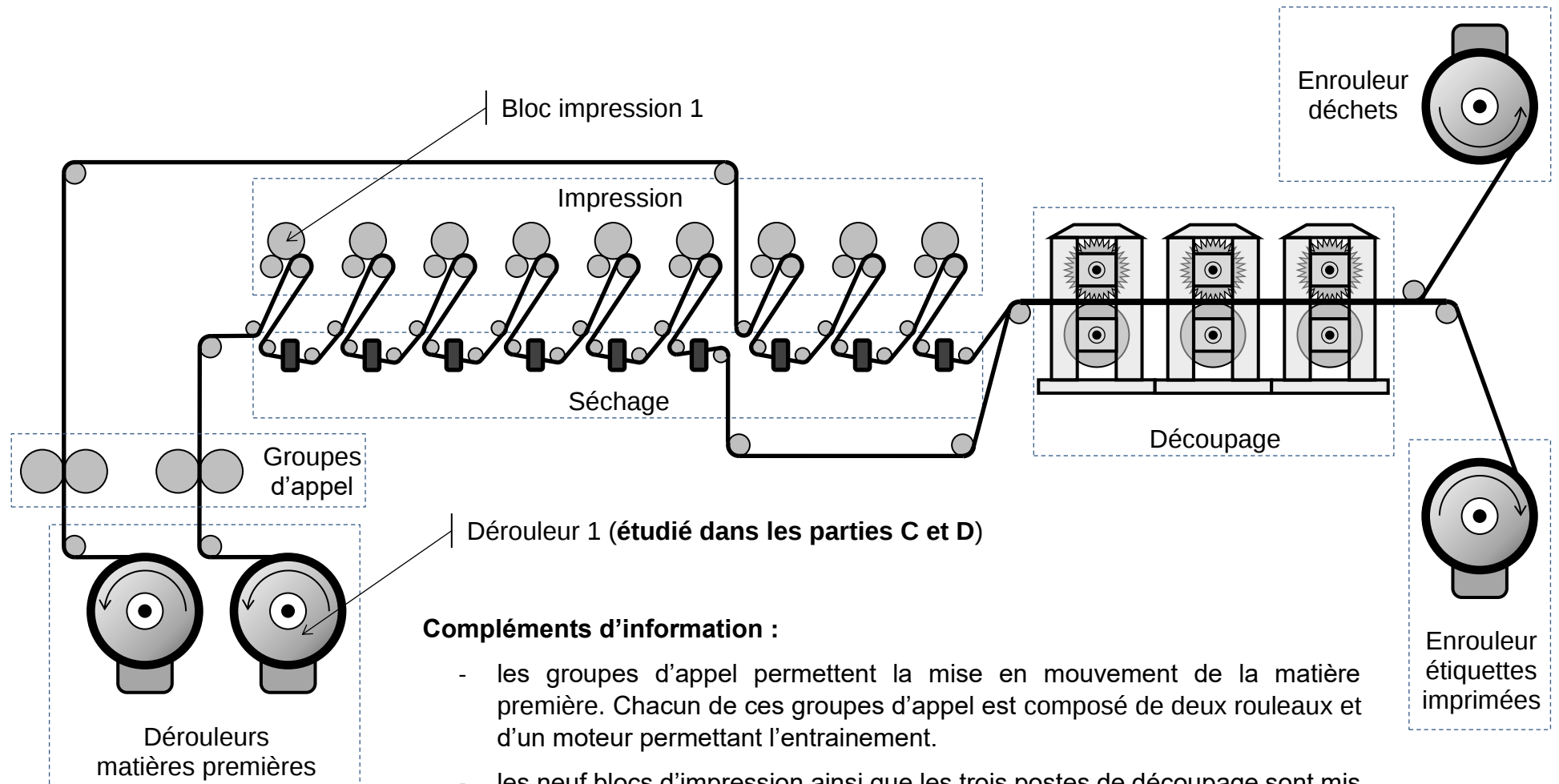
ENTREPRISE STRATUS PACKAGING



DOSSIER TECHNIQUE

DTEC 1 :	présentation de la nouvelle ligne d'impression A30	2
DTEC 2 :	cahier des charges (2 pages).....	3
DTEC 3 :	extrait du schéma du TGBT	5
DTEC 4 :	synoptique du dérouleur 1 et de son « pantin » (2 pages)	6
DTEC 5 :	synoptique prévisionnel des réseaux de communication de la ligne A30	8
DTEC 6 :	données économiques	9

DTEC 1 : présentation de la nouvelle ligne d'impression A30



Compléments d'information :

- les groupes d'appel permettent la mise en mouvement de la matière première. Chacun de ces groupes d'appel est composé de deux rouleaux et d'un moteur permettant l'entraînement.
- les neuf blocs d'impression ainsi que les trois postes de découpage sont mis en rotation par un seul moteur appelé « moteur ligne principal ». Le mouvement est ensuite transmis à chaque poste par des registres qui permettent de réguler la vitesse de déplacement de la bande imprimée.
- la motorisation n'est pas représentée sur le synoptique.

Distribution électrique

Transformateur de distribution :

- la puissance du transformateur (20 kV / 410 V) est de 800 kVA ;
- le schéma de liaison à la terre est de type TNS ;
- le réseau de distribution électrique est triphasé 400 V + N + PE ;
- le raccordement électrique entre le transformateur et le TGBT est réalisé à l'aide de câbles en cuivre unipolaires ;
- l'entreprise impose de maintenir un taux de charge du transformateur inférieur à 75 % (hors puissance déformante).

Tableau général basse tension (TGBT) :

- il comporte 13 départs existants (lignes d'impression, salle blanche...) ;
- deux nouveaux départs seront ajoutés sur le jeu de barre existant :
 - départ 14 - alimentation de la nouvelle ligne d'impression A30 ;
 - départ 15 - alimentation du système de compensation d'énergie réactive ;
- la réserve existante est suffisante pour l'implantation de ces 2 nouveaux départs ;
- dans la mesure du possible, les caractéristiques des disjoncteurs Q14 et Q15 des nouveaux départs seront déterminées en prenant en compte la technique de filiation ;
- les raccordements des nouveaux départs seront réalisés par câbles multipolaires en cuivre.

Système de compensation d'énergie réactive à installer :

- la mise en place d'un système de compensation d'énergie réactive devra permettre de maintenir un taux de charge du transformateur inférieur à 75 % après l'installation de la nouvelle ligne d'impression A30 ;
- le système de compensation devra également permettre de maintenir la valeur de $\tan \varphi$ inférieure ou égale à 0,4.

Ligne d'impression A30

Spécifications techniques :

- alimentation électrique : 3 × 400 V + N + PE ;
- largeur maximale de bande de matière première : 410 mm ;
- vitesse maximale de la bande : 100 m/min ;
- diamètre maximal des bobines de matières premières du dérouleur 1 : 1016 mm ;
- diamètre minimal des bobines de matières premières du dérouleur 1 : 90 mm.

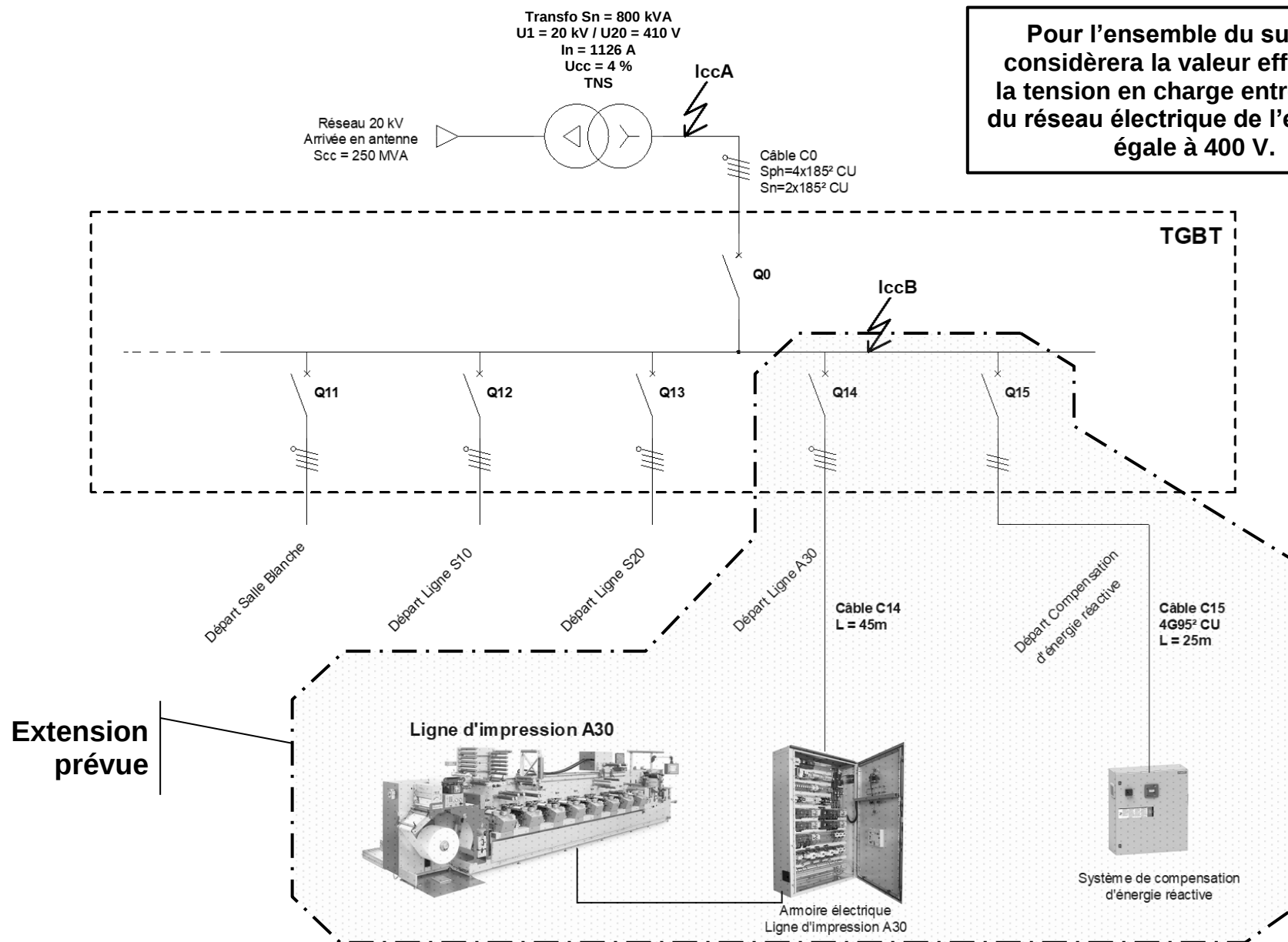
« Rétrofit » de la ligne d'impression :

- l'ensemble des moteurs (MCC) sera remplacé par des moteurs brushless ;
- l'armoire électrique de commande sera intégralement refaite en intégrant des éléments communicants favorisant la maintenance à distance.

Contraintes :

- contraintes matérielles :
 - le capteur de position du vérin, de type MPS-256TSTU0, déjà présent sur la ligne d'impression sera conservé lors du « retrofit ».
- contraintes de régulation de la tension de la bande de matière première au niveau du dérouleur :
 - précision de la mesure : 0,1 mm.
- contraintes économiques
 - le coût de l'ensemble du retrofit (matériel + main d'œuvre) ne devra pas dépasser 200 000 € HT ;
 - le retour sur investissement est souhaité inférieur à 6 ans.

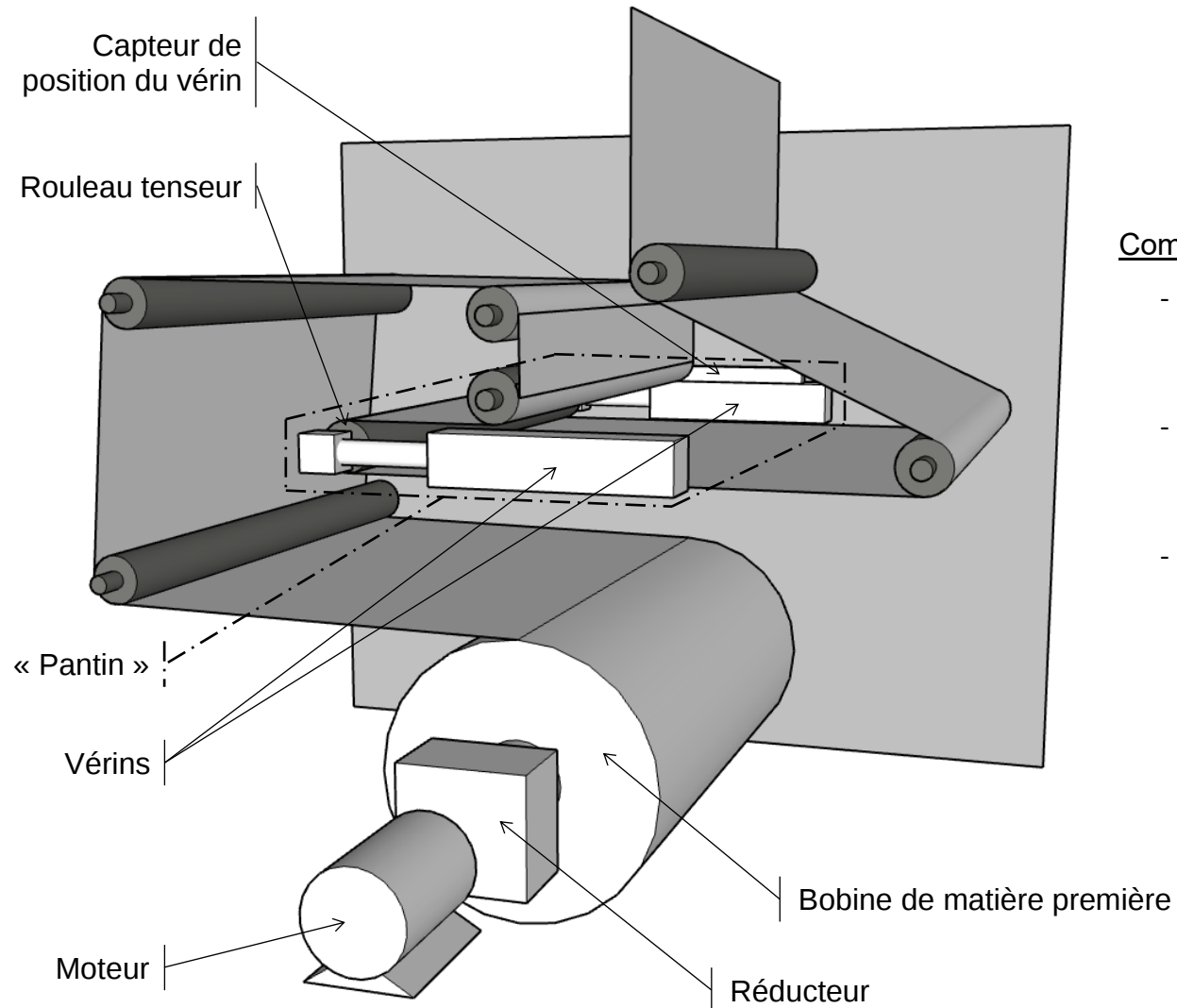
DTEC 3 : extrait du schéma du TGBT



Pour l'ensemble du sujet, on considèrera la valeur efficace de la tension en charge entre phases du réseau électrique de l'entreprise égale à 400 V.

DTEC 4 : synoptique du dérouleur 1 et de son « pantin » (2 pages)

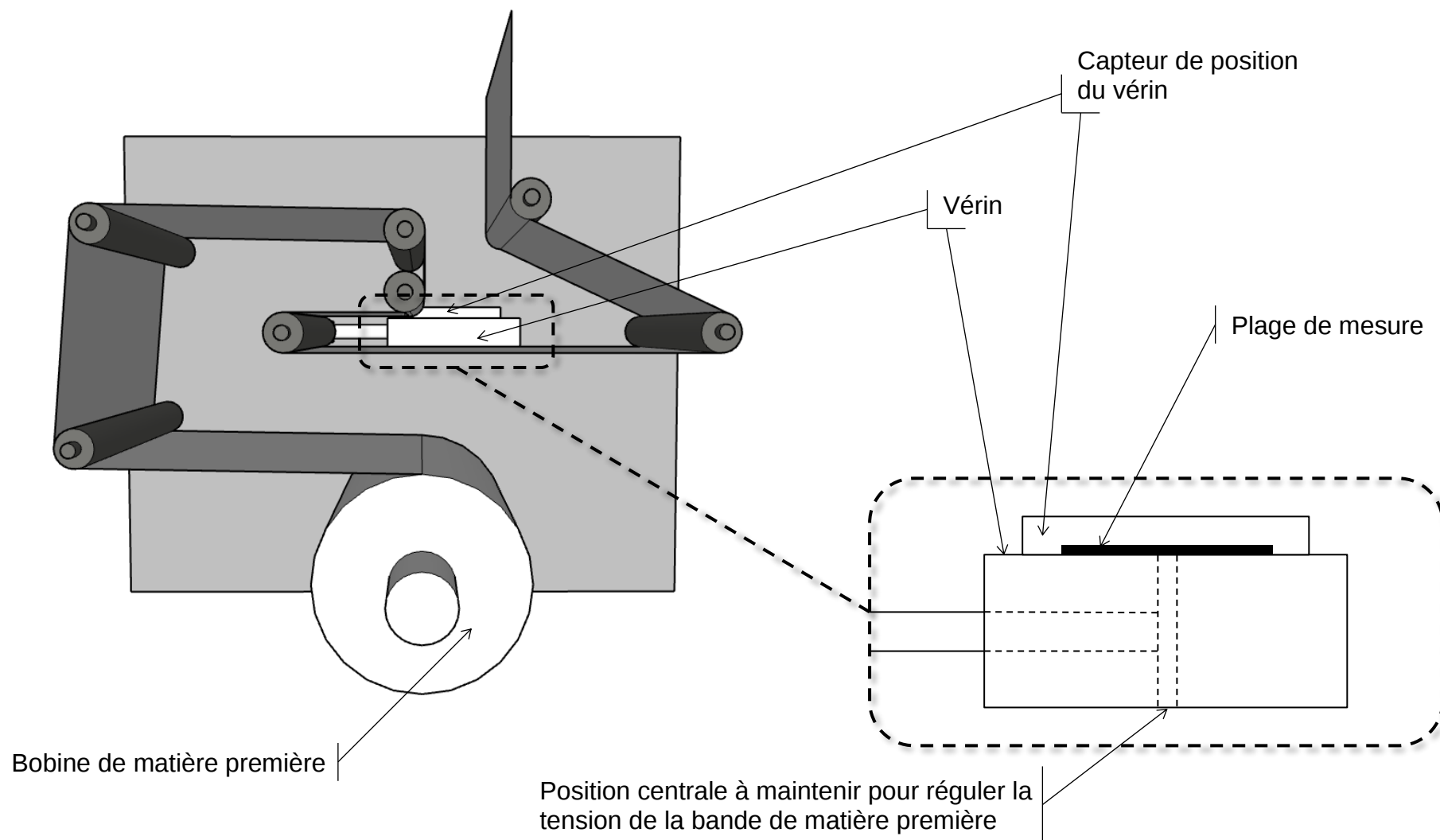
Vue d'ensemble du dérouleur :



Compléments d'information :

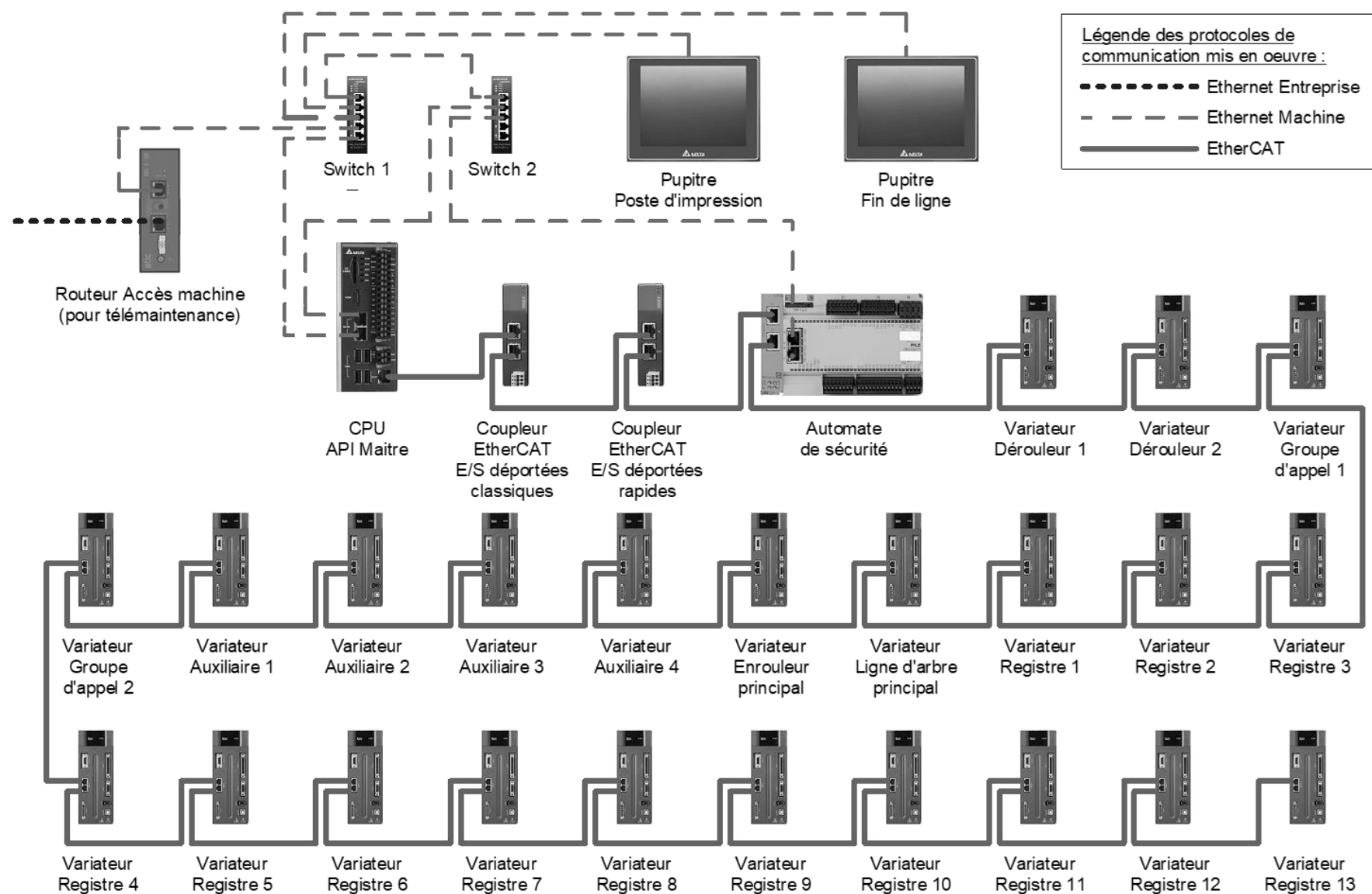
- caractéristiques du réducteur :
 - rapport de réduction : $r = 5$
 - rendement énergétique : $\eta_r = 93 \%$
- le corps des vérins est fixé sur le châssis du dérouleur. Le moyen de fixation n'est pas représenté sur le synoptique.
- l'ensemble « vérins - capteur de position - rouleau tenseur » est appelé « pantin ».

Vue détaillée du capteur de position du vérin :



Remarque : le motoréducteur et le deuxième vérin (celui non équipé du capteur de position) ne sont pas représentés sur cette vue.

DTEC 5 : synoptique prévisionnel des réseaux de communication de la ligne A30



Tous les montants sont exprimés en **prix HT**.

Coût estimé des dépenses matérielles :

- le coût d'achat des matériels nécessaires au « rétrofit » est estimé à **118 400 €**.

Estimation du nombre d'heures nécessaires à la réalisation du projet :

- pour la partie mécanique : **100 h** d'étude et de mise au point + **300 h** de mise en œuvre ;
- pour la partie électrique : **300 h** d'étude et de mise au point + **220 h** de mise en œuvre ;
- les heures d'études et de mise au point sont chiffrées à **65 €** ;
- les heures de mise en œuvre sont chiffrées à **45 €**.

Bilan énergétique :

- des mesures réalisées sur l'ancienne ligne avant « rétrofit » indiquaient une puissance moyenne consommée de **85 kW** ;
- la puissance moyenne consommée de la nouvelle ligne après « rétrofit » est estimée à **47 kW** ;
- le prix moyen sur une année du kW·h pour l'entreprise s'élève à **0,058 €**.

Nombre d'heures de fonctionnement :

- la ligne d'impression fonctionne **12 heures par jour** et **5 jours par semaine** ;
- l'entreprise utilise la ligne **48 semaines** par an.

Valeur ajoutée du « rétrofit » :

- un rétrofit précédemment réalisé sur une machine similaire permet d'estimer que l'on évite **8 heures d'arrêt par mois** pour cause de maintenance.

Ce gain est principalement dû à :

- la fiabilité du nouveau matériel ;
- la finesse des réglages ;
- la mise en place d'éléments communicants permettant une maintenance à distance ;
- la standardisation des matériels installés (stock disponible).

Coût d'arrêt de la ligne d'impression :

- un arrêt de la ligne engendre un coût de **400 €** par **heure** pour l'entreprise (ce coût prend en compte le manque de production et la maintenance).

Le bien être des opérateurs grâce à ce rétrofit est également un élément à prendre considération mais n'est pas quantifiable économiquement.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
ÉLECTROTECHNIQUE

Épreuve E4
CONCEPTION – ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

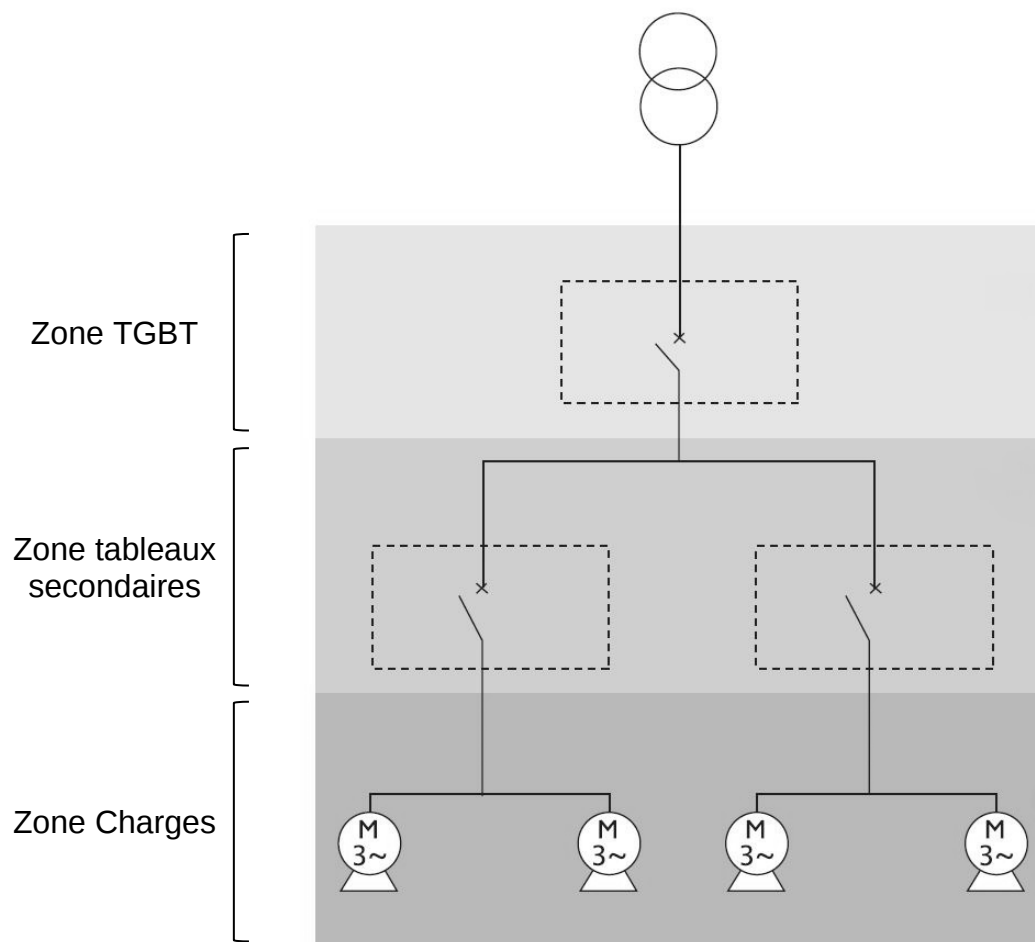
Session 2024

ENTREPRISE STRATUS PACKAGING



DOSSIER RESSOURCES

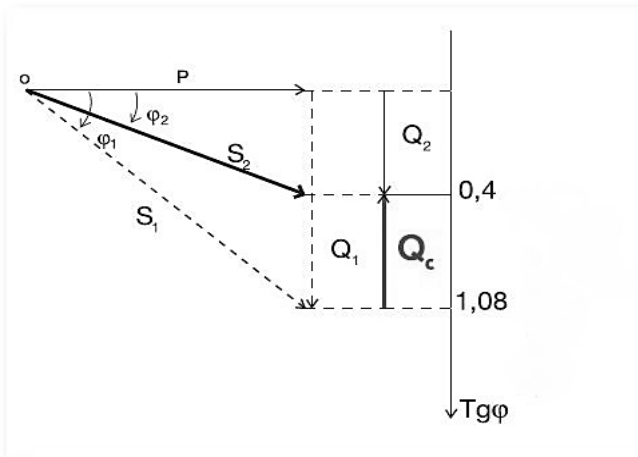
DRES 1 :	caractérisation de la compensation d'énergie réactive (2 pages)	2
DRES 2 :	introduction à la filiation.....	4
DRES 3 :	détermination de la section minimale des conducteurs.....	5
DRES 4 :	documentation du capteur de position de vérin MPS-256TSTU0	6
DRES 5 :	modèle de Broïda.....	7

Zones d'implantation possibles d'un système de compensation d'énergie réactive


Zone d'implantation			
	TGBT	Tableaux secondaires	Charges
AVANTAGES	► suppression de la facturation d'énergie réactive ► augmentation de la puissance disponible au secondaire du transformateur ► solution très économique car une seule batterie de compensation installée	► suppression de la facturation d'énergie réactive ► augmentation de la puissance disponible au secondaire du transformateur si l'on installe tous les niveaux secondaires de batteries de compensation d'énergie réactive ► solution économique	► suppression de la facturation d'énergie réactive ► pas de chutes de tension ► économies sur le dimensionnement des équipements électriques ► compensation d'énergie réactive au plus près des appareils consommateurs du réactif
COMMENTAIRES	► pas de réduction de pertes en lignes (chutes de tension) ► pas d'économies sur le dimensionnement des équipements électriques	► solution parfaitement adaptée pour des réseaux d'usine très étendus	► solution onéreuse

Calcul de la puissance réactive d'un système de compensation

Bilan des Puissances.



$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c = P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Avec : P : puissance active

Q_1 : puissance réactive **sans** compensation d'énergie réactive

S_1 : puissance apparente **sans** compensation d'énergie réactive

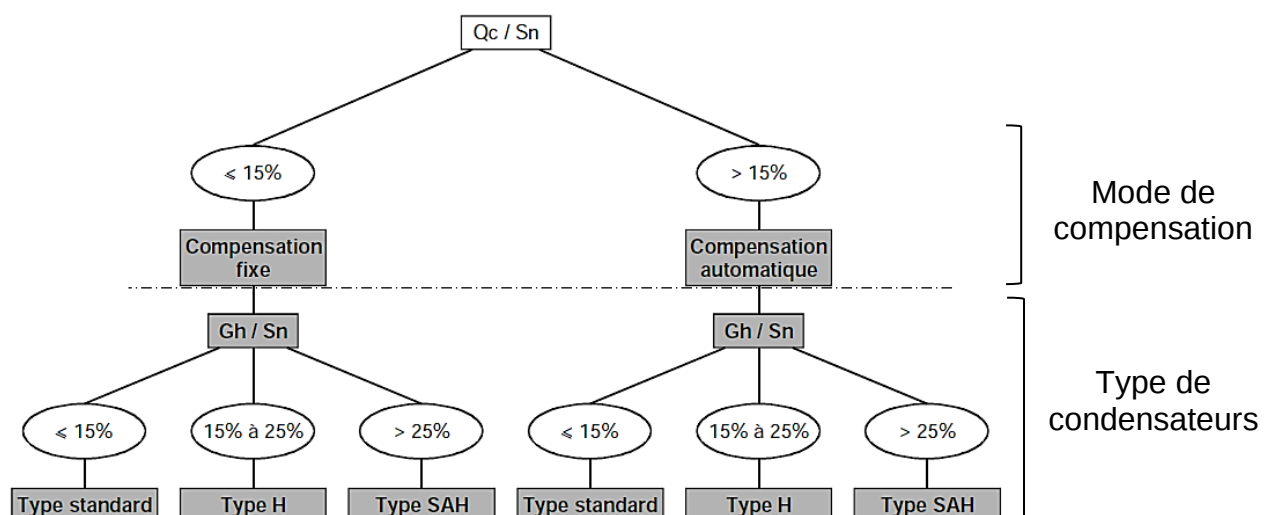
φ_1 : déphasage **sans** compensation

Q_2 : puissance réactive **après** compensation d'énergie réactive

S_2 : puissance apparente **après** compensation d'énergie réactive

φ_2 : déphasage **après** compensation

Détermination du mode de compensation et du type de condensateur



Légende :

$\varnothing$ Sn : puissance apparente en kVA du transformateur.

$\varnothing$ Qc : puissance réactive de compensation en kVar.

$\varnothing$ Gh : puissance apparente en kVA des récepteurs produisant des harmoniques (moteurs à vitesse variable, convertisseurs statiques, électronique de puissance....)

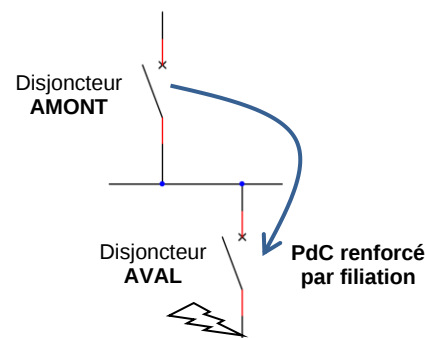
DRES 2 : introduction à la filiation

La filiation

Cette technique consiste à utiliser le pouvoir de limitation de l'intensité de court-circuit du disjoncteur situé en amont d'une installation. Lors du court-circuit, le disjoncteur amont s'ouvre et augmente ainsi l'impédance de ligne, permettant au disjoncteur aval de couper un courant de court-circuit inférieur à celui présumé.

Elle permet d'installer, en aval, des disjoncteurs ayant des pouvoirs de coupure inférieurs aux courants de court-circuit présumés aux points où ils sont installés.

Elle procure un **pouvoir de coupure (PdC) "renforcé"** aux disjoncteurs placés en aval d'un disjoncteur limiteur.



Utilisation de la filiation

Le pouvoir de coupure de l'appareil amont doit être supérieur ou égal au courant de court-circuit présumé au point où il est installé. L'association de deux disjoncteurs en filiation est prévue par les normes :

- de construction des appareils (IEC 60947-2) ;
- d'installation (NF C 15-100).

Des tableaux de filiation entre disjoncteurs sont élaborés par les fabricants.

Exemple :

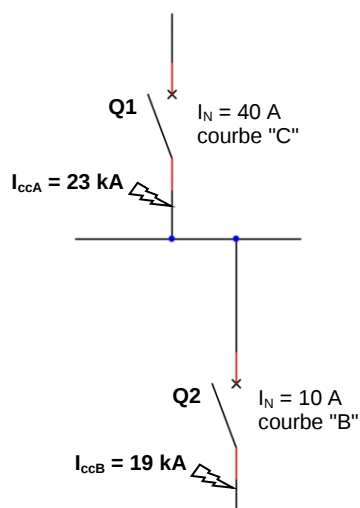


Tableau de filiation

Aval	Caractéristique	I _{cu} [kA]	I _n [A]	Amont			
				S 200L	S200	Q1	S200P
				C	B-C	B-C	B-C
				10	20	25	40
				6..40	0,5..63	0,5..63	0,5..25
S931 N	C	4,5	2..40	10	20	25	40
S941 N*	B, C	5	2..40	10	20	25	40
S951 N*	B, C	10	2..40	10	20	25	40
S971 N*	B, C	10	2..40	10	20	25	40
S200 L	C	10	6..40		20	25	40
S200	B, C, K, Z	20	0,5..63			25	40
S200 M	B, C, D	25	0,5..63				40

	Sans filiation	Avec filiation
Q1	S200M PdC = 25 kA	S200M PdC = 25 kA
Q2	S200 PdC = 20 kA	S941 N PdC = 6 kA PdC renforcé = 25 kA

Pouvoir de coupure renforcé par filiation

Avantage de la filiation

Grâce à la filiation, des disjoncteurs possédant des pouvoirs de coupure inférieurs au courant de court-circuit présumé de l'installation peuvent être installés en aval de disjoncteurs limiteurs. Il s'en suit que de substantielles économies peuvent être réalisées au niveau de l'appareillage et des tableaux électriques.

DRES 3 : détermination de la section minimale des conducteurs

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

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

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

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

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

Détermination de la section minimale

Le courant admissible I_z dans la canalisation correspond au réglage thermique du disjoncteur de protection.

L'intensité fictive I'_z prenant en compte le coefficient K est :

$$I'_z = \frac{I_z}{K}$$

La **section minimale** s'obtient en considérant la valeur immédiatement supérieure à I'_z dans les tableaux correspondants.

Lettre de sélection

type d'éléments conducteurs	mode de pose	lettre de sélection
conducteurs et câbles multiconducteurs	● sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré ● sous vide de construction, faux plafond ● sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles	B
	● en apparent contre mur ou plafond ● sur chemin de câbles ou tablettes non perforées	C
câbles multiconducteurs	● sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ● fixés en apparent, espacés de la paroi ● câbles suspendus	E
câbles monoconducteurs	● sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ● fixés en apparent, espacés de la paroi ● câbles suspendus	F

Facteur de correction K1

lettre de sélection	cas d'installation	K1
B	● câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants	0,70
	● conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants	0,77
	● câbles multiconducteurs	0,90
	● vides de construction et caniveaux	0,95
C	● pose sous plafond	0,95
B, C, E, F	● autres cas	1

Facteur de correction K2

lettre de sélection	disposition des câbles jointifs	facteur de correction K2													
		nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20		
B, C, F	encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40		
C	simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles.				
	simple couche au plafond	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64					
E, F	simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72					
	simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78					

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, appliquer en plus un facteur de correction de :

- 0,80 pour deux couches
- 0,73 pour trois couches
- 0,70 pour quatre ou cinq couches.

Facteur de correction K3

températures ambiantes (°C)	isolation		
	élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,06	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,94	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	-	0,61	0,76
60	-	0,50	0,71

Facteur de correction Kn (conducteur Neutre chargé) (selon la norme NF C 15-100 § 523.5.2)

- Kn = 0,84
- Kn = 1,45

► Détermination de la section d'un conducteur Neutre chargé ► page A47.

Facteur de correction dit de symétrie Ks

(selon la norme NF C 15-105 § B.5.2 et le nombre de câbles en parallèle)

- Ks = 1 pour 2 et 4 câbles par phase avec le respect de la symétrie
- Ks = 0,8 pour 2, 3 et 4 câbles par phase si non respect de la symétrie.

DRES 4 : documentation du capteur de position de vérin MPS-256TSTU0



Informations de commande

Type	Référence
MPS-256TSTU0	1050739

Autres modèles d'appareil et accessoires → www.sick.com/MPS-T

Caractéristiques techniques détaillées

Type de vérin	Rainure en T
Formes de vérin avec adaptateur	Vérin cylindrique Vérins à tige profilée et à tirant Vérin avec rainure en queue d'aronde Rail SMC CDQ2 Rail SMC ECDQ2 Pour vérin SMC avec rainure en C
Plage de mesure	256 mm ¹⁾
Longueur du boîtier	269 mm
Fonction de sortie	Analogique
Version électrique	CC 4 fils
Sortie analogique (tension)	0 V ... 10 V ²⁾
Sortie analogique (courant)	4 mA ... 20 mA ²⁾
Apprentissage	✓
Indice de protection	IP67 ³⁾
Réglage	
Panneau de commande apprentissage	Programmation des sorties analogiques Réinitialisation de la plage de mesure aux réglages par défaut
Tension d'alimentation	15 V DC ... 30 V DC
Consommation	22 mA, sans charge
Résistance de charge max.	≤ 500 Ω Sortie de courant, pour 24 V

¹⁾ , ± 1 mm.

²⁾ Le capteur n'active cependant que la sortie nécessaire pour l'application.

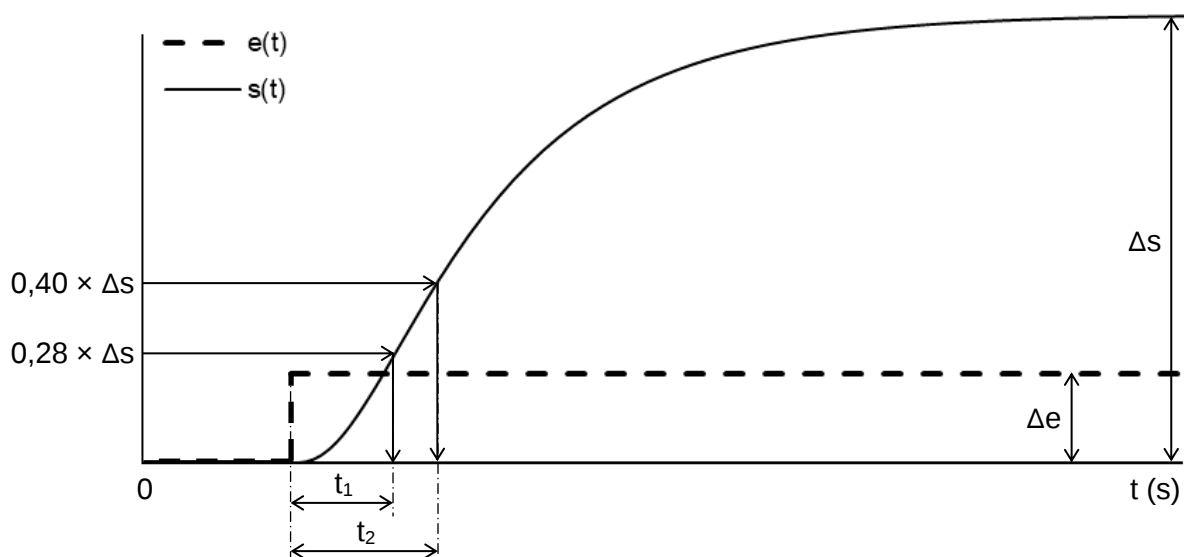
³⁾ Selon EN 60529.

Détermination du modèle

La méthode de Broïda permet de modéliser un système sous la forme d'un système du premier ordre avec un retard. Ce modèle a pour paramètres :

- K : gain statique
- T_r : retard en secondes
- τ : constante de temps en secondes

À partir des relevés, réalisés en boucle ouverte, de l'évolution temporelle de la grandeur d'entrée $e(t)$ du système et de la grandeur de sortie $s(t)$, la construction graphique ci-dessous permet de déterminer Δe , Δs , t_1 et t_2 .



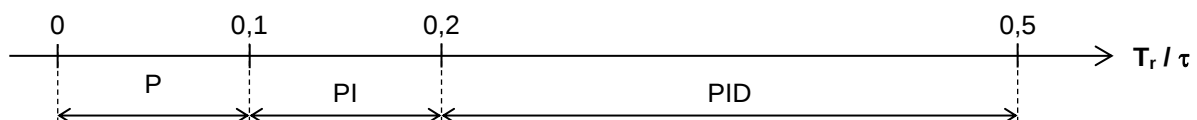
La méthode d'identification s'effectue sur le graphique :

- relever les valeurs de Δe et Δs (valeur obtenue en régime établi) ;
- tracer $0,28 \times \Delta s$ et on relève le temps t_1 correspondant ;
- tracer $0,40 \times \Delta s$ et on relève le temps t_2 correspondant.

Calcul des paramètres du modèle :

- le gain statique : $K = \frac{\Delta s}{\Delta e}$ avec Δe en pourcentage de l'échelle de commande et Δs en pourcentage de la plage de mesure ;
- le retard : $T_r = 2,8 \times t_1 - 1,8 \times t_2$;
- la constante de temps : $\tau = 5,5 \times (t_2 - t_1)$.

Détermination du type de correcteur :



BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
ÉLECTROTECHNIQUE

Épreuve E4
CONCEPTION – ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Session 2024

ENTREPRISE STRATUS PACKAGING



DOSSIER RÉPONSES

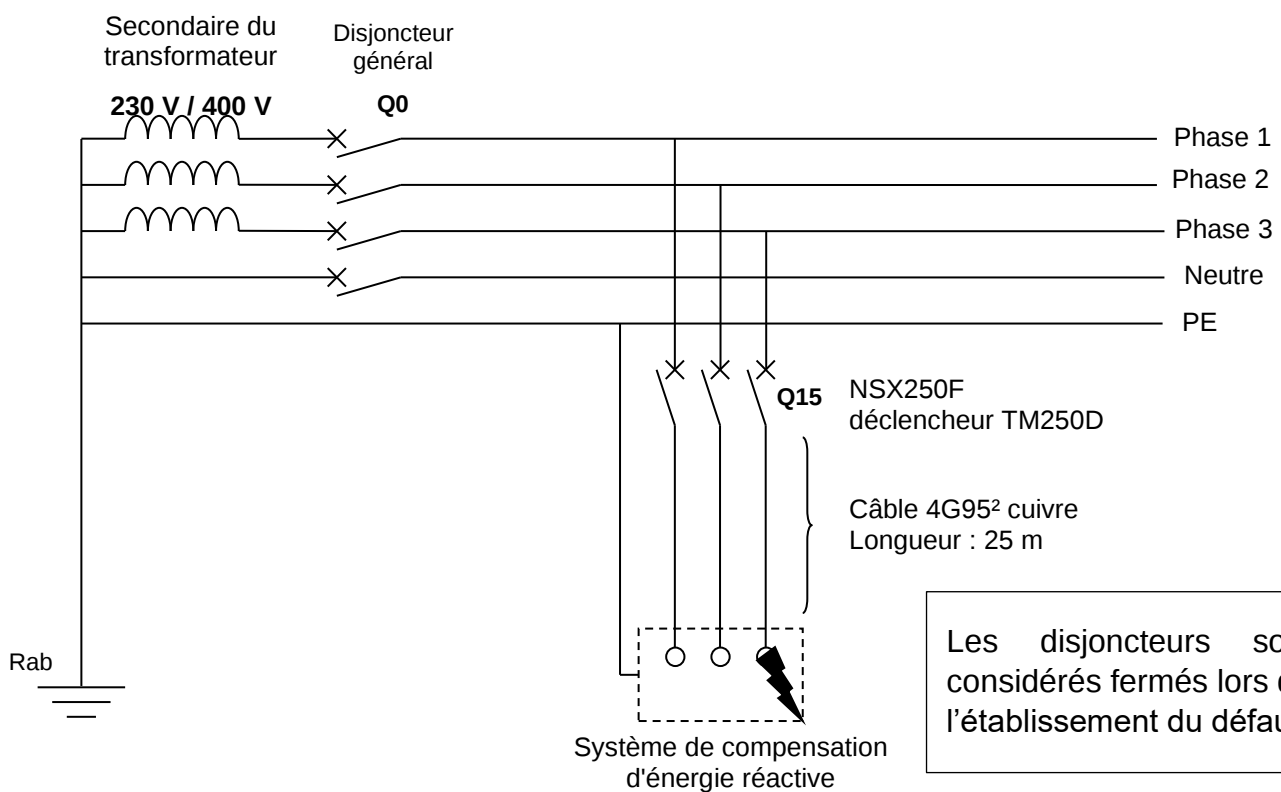
Ce dossier est à rendre agrafé avec une copie.

DREP 1 : détermination des puissances active P_T et réactive Q_T	2
DREP 2 : parcours du courant de défaut	2
DREP 3 : temps de déclenchement.....	3
DREP 4 : détermination de l'intensité I'_Z du courant admissible corrigé	3
DREP 5 : détermination de la section minimale du câble C14.....	4
DREP 6 : signal $s(t)$ relevé en boucle ouverte pour un échelon d'entrée Δe de 5 %	5

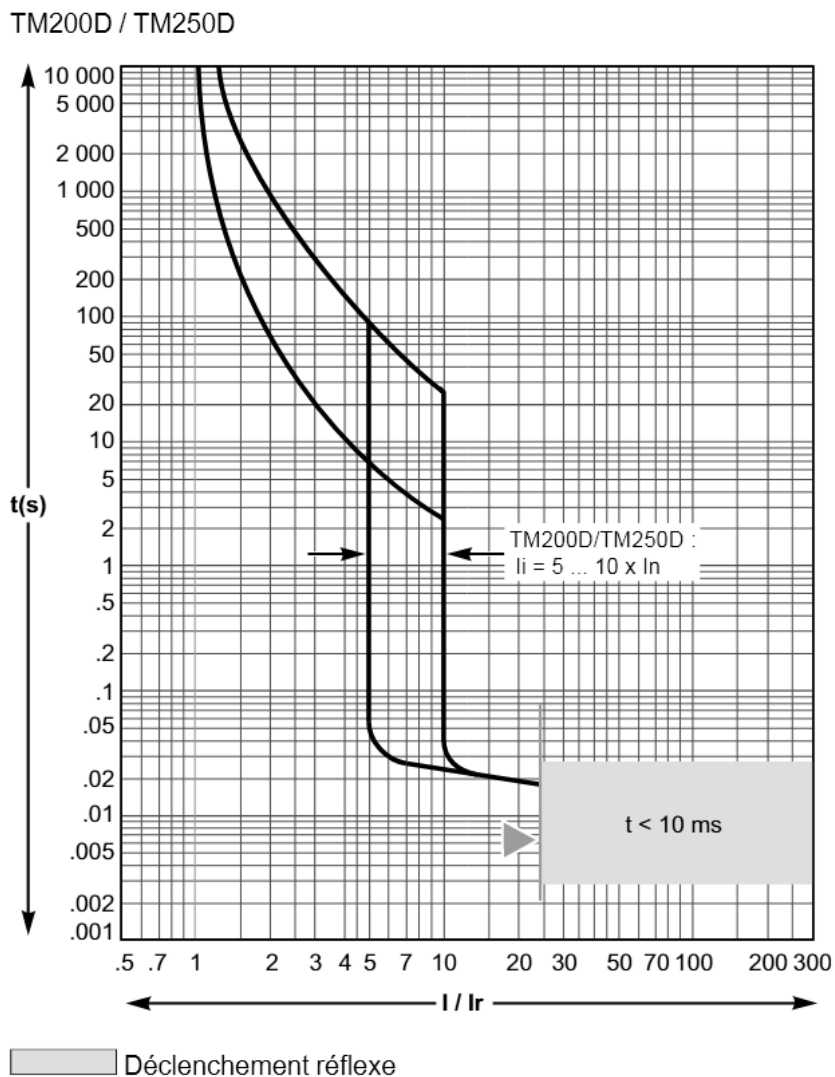
DREP 1 : détermination des puissances active P_T et réactive Q_T

	Puissance active (kW)	Puissance réactive (kvar)	Facteur de puissance
Secondaire du transformateur avant extension	$P_{inst} = 518$	$Q_{inst} = 296$	0,868 (inductif)
Ligne d'impression A30 (extension)	$P_{A30} = 47,0$	$Q_{A30} = \dots\dots\dots$	0,850 (inductif)
Secondaire du transformateur après extension	$P_T = \dots\dots\dots$	$Q_T = \dots\dots\dots$	X

DREP 2 : parcours du courant de défaut



DREP 3 : temps de déclenchement



DREP 4 : détermination de l'intensité I'_z du courant admissible corrigé

Lettre de sélection	K1	K2	K3	Kn	Ks	$I_z (A)$
.....				1	1	

Détermination de l'intensité I'_z du courant admissible corrigé (intensité fictive)

- Expression : $I'_z =$
- Valeur numérique : $I'_z =$

DREP 5 : détermination de la section minimale du câble C14

Le tableau ci-dessous permet de déterminer la section des conducteurs de phase d'un circuit pour des canalisations non enterrées et protégées par disjoncteur.

		isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)								
		caoutchouc ou PVC			butyle ou PR ou éthylène PR					
lettre de sélection	B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
	C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
	E			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
	F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
section cuivre (mm ²)	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		464	497	530	576	621	693	741	783
	400					656	754	825		940
	500					749	868	946		1 083
	630					855	1 005	1 088		1 254
section aluminium (mm ²)	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	58	62	67	
	16	53	59	61	66	73	77	84	91	
	25	70	73	78	83	90	97	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	120	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	146	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	187	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	227	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	263	280	300	337
	150		227	245	261	283	304	324	346	389
	185		259	280	298	323	347	371	397	447
	240		305	330	352	382	409	439	470	530
	300		351	381	406	440	471	508	543	613
	400					526	600	663		740
	500					610	694	770		856
	630					711	808	899		996

DREP 6 : signal $s(t)$ relevé en boucle ouverte pour un échelon d'entrée Δe de 10 %

