**BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR**

**ASSISTANCE TECHNIQUE D’INGÉNIEUR**

**Épreuve E4 - Sous-épreuve E4.2**

**Vérifications des performances mécaniques et électriques d'un système pluritechnologique**

SESSION 2021

Coefficient 3 – Durée 3 heures

**Matériel autorisé :**

L’usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L’usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Aucun document autorisé

**Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu’il est complet.**

**Le sujet se compose de 25 pages, numérotées de 1/25 à 25/25.**

* **Sujet :**
  + **présentation du support** … pages 2 à 3 ;
  + **partie 1 (20 minutes)** … pages 4 à 5 ;
  + **partie 2 (20 minutes)** … page 5 ;
  + **partie 3 (20 minutes)** … page 6  ;
  + **partie 4 (40 minutes)** … pages 7 à 8 ;
  + **partie 5 (80 minutes)** … pages 9 à 12 ;
* **Documents techniques** … pages 13 à 24 ;
* **Document réponse** … page 25 .

**Le sujet comporte 5 parties indépendantes, elles peuvent être traitées dans un ordre indifférent, les durées sont données à titre indicatif.**

**Le document réponse DR1 (page 25) sera à rendre agrafé aux copies.**

**Bobineuse - refendeuse**

**Présentation du support**

L'entreprise considérée est une papeterie située dans l'ouest de la France.

Elle dispose d'un effectif de 380 personnes et produit 150 000 tonnes de papier kraft pour emballage, conditionnement et applications industrielles.

**Principe de fabrication d'une feuille de papier kraft :**

Caisse de tête

Eau

Pâte à papier

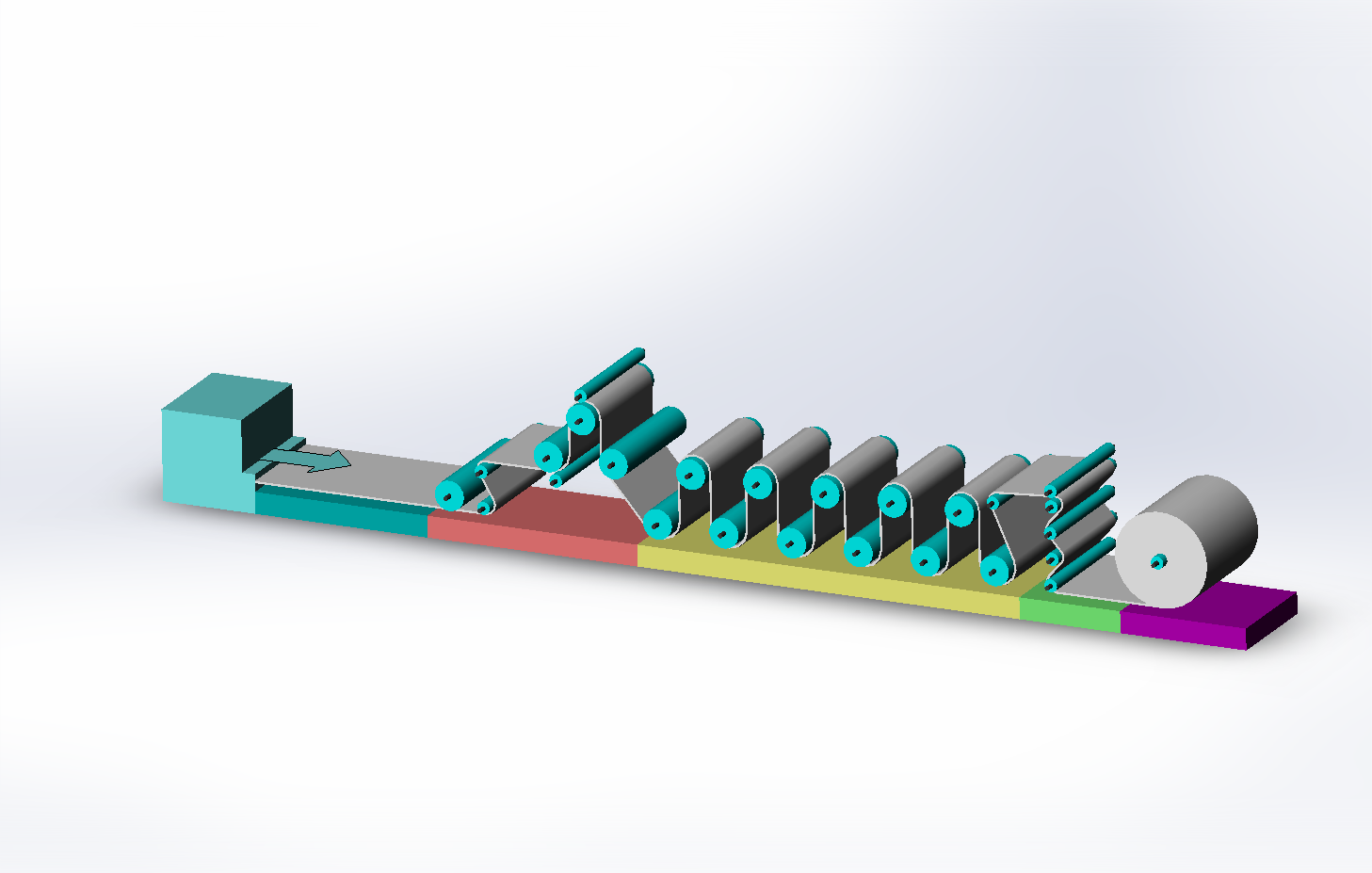
Table de formation

Presses

Sècherie

Finition

Enrouleuse



Bobine mère

Table de formation : le mélange pâte à papier + eau stocké dans la caisse de tête est déposé sous forme de jet sur la “table de formation” animée d'un mouvement saccadé qui facilite la formation de la feuille et son égouttage.

Presses : la feuille est comprimée entre deux cylindres recouverts de feutre absorbant.

Sécherie : la feuille est séchée contre des tambours de fonte chauffés intérieurement à la vapeur.

Finition : la surface du papier est égalisée par compression entre des rouleaux d'acier.

Enrouleuse : la feuille est enroulée autour d'un cylindre en acier pour former la bobine mère. Ce cylindre est appelé mandrin de bobine mère.

**Caractéristiques d'une bobine mère :**

* longueur de papier moyenne = 10 km ;
* masse ≈ 10 tonnes ;
* largeur entre 4,81 et 4,93 m ;
* diamètre øMax = 2,35 m.

La bobine mère est ensuite transférée grâce à un pont roulant vers une bobineuse-refendeuse pour y être refendue en bobines plus petites appelées bobines filles.

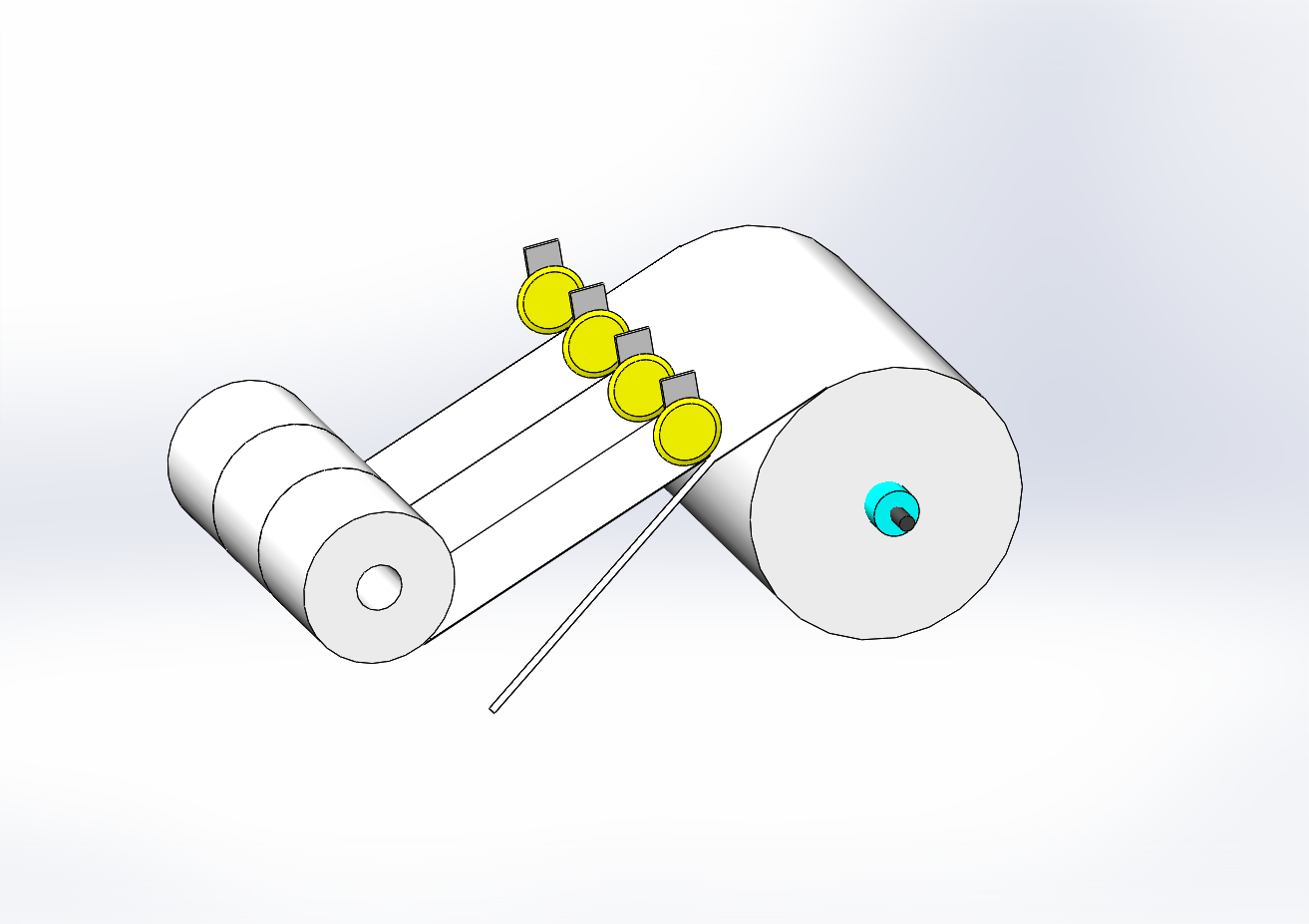
Le papier est enroulé autour de tubes en carton prédécoupés à la bonne laize (largeur). Ces tubes sont appelés mandrins de bobines filles.

Le papier est prêt à être livré.

Couteau

**Schéma de principe :**

Bobine mère



Bobines filles

laize

Bord de la bobine mère irrégulier découpé et recyclé

La bobineuse-refendeuse objet de l'étude possède 13 couteaux pour pouvoir refendre jusqu'à 12 laizes différentes dans la largeur de la bobine mère.

**Synoptique d'une ligne de fabrication de rouleaux de papier kraft**

Eau + pâte à papier

Fabrication feuille de papier kraft

Bobine mère

Stockage (limité à 3 bobines mères)

Transfert bobine mère (pont roulant)

Bobineuse refendeuse

Bobines filles

**Partie 1 : Quelle section du câble C111 doit être choisie pour respecter la norme NF C15-100 sur la chute de tension maximale ?**

La partie découpe (déplacement des couteaux contre-couteaux en fonction des laizes demandées) de la bobineuse vient d’être automatisée. Les 13 couteaux fonctionnent simultanément alimentés par un seul variateur de vitesse.

|  |  |
| --- | --- |
| Question 1.1  Voir DT1 et DT3 | A l’aide de la plaque signalétique du moteur du contre-couteau et du schéma développé du système découpe, **trouver** et **justifier** le couplage des 13 moteurs identiques. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 1.2  Voir DT1 et DT3 | **Calculer** le courant total **Iemploi**à la sortie du variateur de vitesse. |

On souhaite déterminer la section théorique du câble C111 (voir DT2), puis vérifier la conformité de l’ensemble de la ligne d’alimentation vis-à-vis de la norme sur les chutes de tension.

La détermination de la section théorique dépend du courant admissible :



Les DT4 et DT5 présentent le protocole de détermination des différents facteurs de correction.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Câble** | **Section** | **Longueur** | **Mode de pose** |
| **C111** |  | 40 m | Câble multipolaire U 1000 RO2V (cuivre, PR) posé sur chemin de câbles perforé (horizontal avec 2 autres circuits, une seule couche et t = 35° C) |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 1.3.1  Voir DT4 et DT5 | **Déterminer** la lettre de sélection et les coefficients en les justifiant. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 1.3.2 | A l’aide de la formule ci-dessus, **déterminer** le courant admissible **IZ**. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 1.3.3  Voir DT5 | **Déterminer** la section théorique **SE** du câble C111. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 1.3.4  Voir DT1 | **Déterminer** la chute de tension **ΔUC111** dans le câble C111 (on prendra Cos φ = 0.85). |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 1.3.5  Voir DT1 et DT2 | **Calculer** la chute de tension totale **ΔUDécoupe** à partir du câble C0 jusqu’à l’extrémité du câble C111. **Préciser** si cette valeur est conforme à la norme NF C15-100 ? |

**Partie 2 : Comment protéger la nouvelle installation (moteurs contre-couteaux) contre les défauts thermiques ?**

Le choix d’un seul variateur pour les 13 moteurs des contre-couteaux implique la non-protection thermique de chaque moteur par le variateur. Le système a donc été modifié pour utiliser 3 sondes de température de type PTC, montées en série et associées à un dispositif de commande pour la protection thermique.

|  |  |
| --- | --- |
| Question 2.1  Voir DT6 | **Indiquer** ce qui caractérise un capteur de type PTC. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 2.2  Voir DT1 et DT6 | D’après la plaque signalétique, le moteur possède la classe F, **déterminer** la température maximale que pourra supporter le moteur si la température ambiante est de 40°C ? |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 2.3  Voir DT6 | **Choisir** le dispositif de commande à réarmement manuel (alimentation 24V alternatif, possibilité de signaler le défaut par un voyant). |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 2.4  Voir DT6 | En fonction des résultats précédents **choisir** les 3 sondes CTP identiques intégrées au moteur qui conviendront à la protection thermique de nos moteurs. |

**Partie 3 : Cette nouvelle installation permet-elle de satisfaire le facteur de puissance imposé par le fournisseur d’énergie (cos φ ≥ 0,93) ?**

Sur l’ancien système, par rapport aux laizes demandées, une moyenne de 5 moteurs (pour l’entraînement des contre-couteaux), différents de ceux placés actuellement, fonctionnent simultanément. Des mesures de puissance avaient été réalisées indiquant un facteur de puissance proche de la recommandation imposée par le fournisseur d’énergie :

cos φ ≥ 0.93

Après l’installation de l’automatisation, l’entreprise veut vérifier la détérioration ou non du facteur de puissance.

|  |  |
| --- | --- |
| Question 3.1  Voir DT1 et DT2 | Sachant que les 13 moteurs sont identiques, **déduire** le nouveau facteur de puissance cos φ ? |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 3.2 | **Etablir** une conclusion en indiquant les conséquences que ce nouveau facteur de puissance provoque aux niveaux électrique et économique. |

Afin de satisfaire la recommandation du fournisseur d’énergie, l’entreprise souhaite implanter une batterie de condensateurs. On vous rappelle le triangle des puissances suivant :

**Qfournisseur**

**Qc = Qtot - Qfournisseur**

**Condensateurs**

ϕ

**Ptot**

**Stot**

**Qtot**

Φfournisseur = 20°

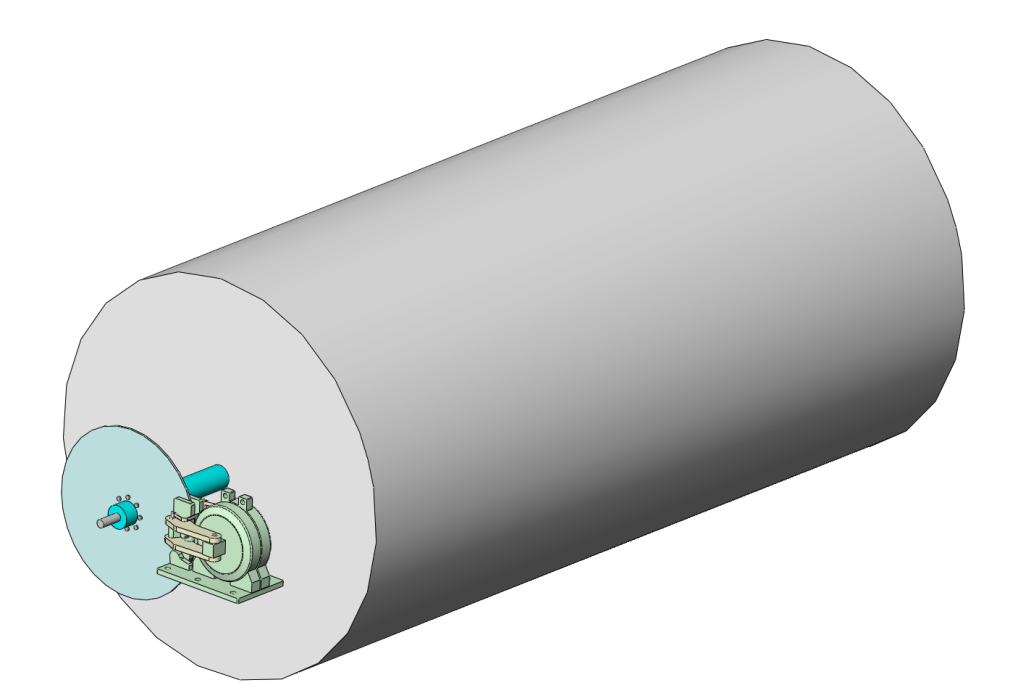
Qc = Ptot × (tg φ – tg φfournisseur)

|  |  |
| --- | --- |
| Question 3.3  Voir DT1 | **Calculer** la puissance absorbée d’un moteur. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 3.4 | Sachant que les 13 moteurs sont identiques, **Calculer** l’énergie réactive que devra fournir la batterie de condensateurs. |

**Partie 4 : Le dispositif de freinage d'urgence pour l'arrêt en rotation de la bobine mère est-il satisfaisant ?**

Une étude sur la sécurité menée d'après la norme ISO 13855 impose une immobilisation complète de la bobineuse en 1,95 seconde après le déclenchement d'un arrêt d'urgence.

Le freinage est assuré au moyen d'un frein à disque de diamère ∅ = 520 mm, d'épaisseur 12,5 mm et d'un frein d'urgence électromagnétique SIME Brakes 2SA avec des garnitures type US2-5. Le dispositif de freinage doit être capable d'absorber l'énergie cinétique de la bobine mère et dissiper l'énergie thermique qui se dégage.

Bobine mère

Frein SIME Brakes type 2SA

avec garniture type US2-5

z

Disque de frein ∅ = 520 mm ép = 12,5 mm

z

**Partie 4.1 :** Calcul de l'énergie cinétique de la bobine mère

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.1.1  Voir DT8 et DT9 | **Relever** sur les courbes du document technique, les valeurs de la vitesse angulaire ω et du moment d'inertie J pour les instants A et B. **Calculer** EcA et EcB l'énergie cinétique de la bobine mère pour ces 2 instants. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.1.2 | **Préciser** quelle sera la valeur retenue pour le calcul du frein. **Justifier** votre réponse. |

**Partie 4.2 :** Calcul des caractéristiques cinématiques de la bobine mère

ω (rad·s-1)

t (s)

t = 1,95 s

ω

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.2.1 | La loi de variation de la vitesse angulaire de la bobine mère lors de la phase de freinage est décrite par le graphe ci-contre (mouvement circulaire uniformément varié). À partir de la vitesse angulaire ω utilisée pour le calcul de l’énergie cinétique, **calculer** la décélération angulaire α durant cette phase. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.2.2 | **Calculer** θ, l'angle parcouru par la bobine durant la phase de freinage jusqu'à l'arrêt complet. |

**Partie 4.3 :** Calcul du couple de freinage

Quels que soient les résultats trouvés précédemment, on prendra : θ = 20 rad et  
Ec = 154000 J en début de freinage. On considère que la seule action mécanique extérieure qui s'applique sur la bobine est le couple de freinage Cfrein.

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.3.1 | **Donner** et **justifier** la valeur de l’énergie cinétique de la bobine mère à la fin de la phase de freinage. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.3.2  Voir DT9 | Par application du théorème de l'énergie cinétique, **calculer** Cfrein le couple de freinage nécessaire à l'arrêt de la bobine. |

**Partie 4.4 :** Vérification de la capacité du dispositif de freinage

Quel que soit le résultat trouvé précédemment, on prendra Cfrein = 8000 Nm.

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.4.1  Voir DT8 et DT10 | A l’aide de la documentation constructeur du disque de frein, **donner** la valeur de WBSzul pour le disque considéré et **calculer** WB l’énergie de freinage générée par l’application. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.4.2  Voir DT11 | Le frein SIME Brakes 2SA utilisé est commandé par manque de courant. **Justifier** son emploi comme frein d’urgence. |

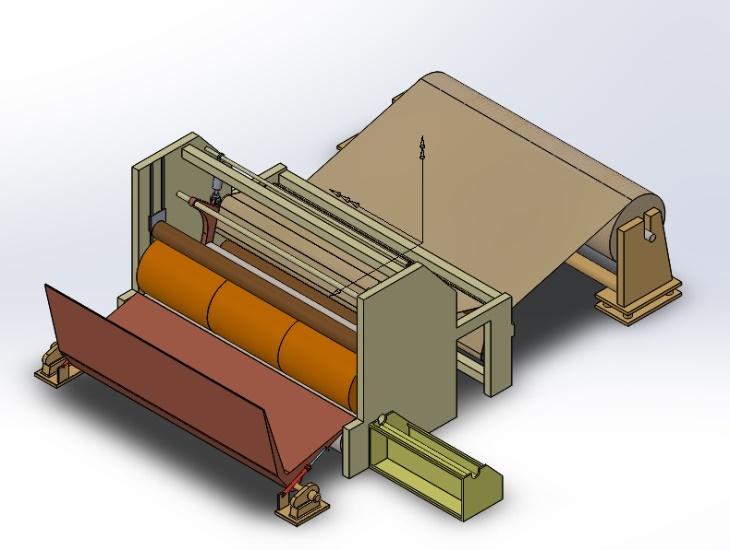
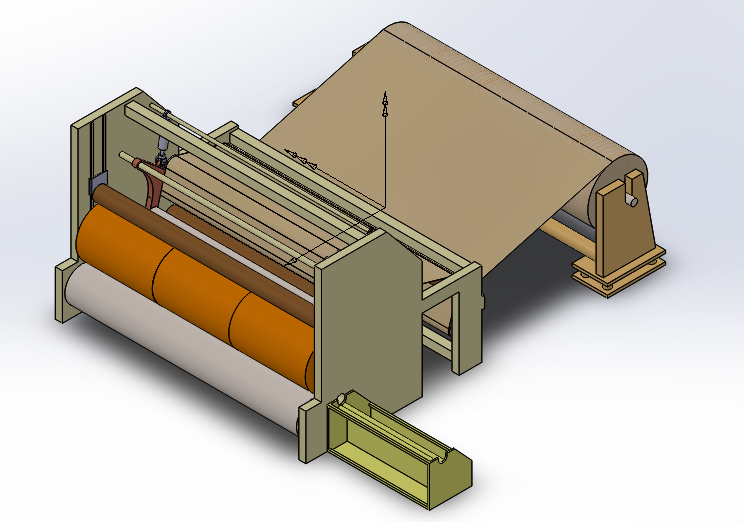
|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.4.3  Voir DT8 et DT11 | **Donner** la valeur limite de la vitesse linéaire du disque autorisée par la documentation constructeur, puis connaissant son rayon, **calculer** VMax la vitesse linéaire maximale en périphérie du disque de frein pendant le fonctionnement. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.4.4  Voir DT11 | A partir de la documentation constructeur, **calculer** CF le couple de freinage dynamique. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.4.5  Voir DT10 et DT11 | **Rédiger** une conclusion générale des questions 4.4.1, 4.4.3, et 4.4.4 sur l'aptitude du dispositif de freinage à réaliser un arrêt d'urgence suivant la norme ISO 13855. |

**Partie 5 : Les vérins choisis sont-ils bien dimensionnés pour l’éjection des bobines filles ?**

Lorsque les bobines filles sont éjectées de la bobineuse refendeuse, elles tombent de la hauteur des rouleaux porteurs directement sur le sol. Cette chute abime parfois les bobines filles rendant inutilisable les premières couches. Afin d’éviter ces dégradations, une pelle d’évacuation a été installée. Cette pelle utilise deux vérins hydrauliques en symétrie pour la pivoter.



Bobineuse sans la pelle d’éjection Bobineuse avec la pelle d’éjection

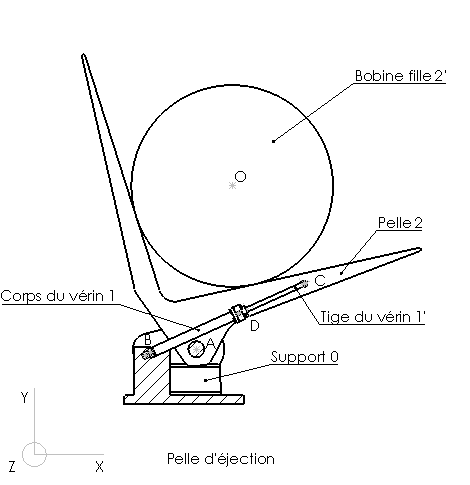
L’objectif de cette étude est de vérifier que les vérins installés sont conformes au cahier des charges suivant.

* La masse totale maximale des bobines filles éjectées est de 4000 kg
* Le temps d’éjection des bobines filles doit être inférieur à 5 s.
* Les bobines doivent rouler entre 2 m et 5 m sur la plateforme d’accueil horizontale.

Désignation des vérins série 350 V choisis (voir DT12).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| DE |  | 350 |  | VO |  | 80 | / | 45 |  | F |  | 350 |
| Type de vérin  SE : Simple effet DE : Double effet |  | Série |  | Fond de vérin |  | Ø piston en mm |  | Ø tige en mm |  | Extrémité de la tige |  | Course en mm |

Les composants de la pelle d’éjection sont les suivants :



La bobine 2’ est solidaire de la pelle 2 tout au long de sa rotation. La pelle 2 est en liaison pivot de centre A et d’axe avec le support 0. Le support est fixé au sol. Le corps de vérin 1 est en liaison pivot de centre B et d’axe avec le support 0. Il est aussi en liaison pivot glissant de centre D et d’axe (BC) avec la tige du vérin 1’. La tige du vérin1’ est en liaison pivot de centre B et d’axe avec la pelle 2.

Les étapes de l’éjection de la bobine fille sont les suivantes :

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Etape 0 | Etape 1 | Etape 2 | Etape 3 | Etape 4 |
| Position initiale | Réception de la bobine fille | Rotation de la pelle | Libération de la bobine fille | Rotation de la bobine (retour en position initiale) |
|  |  |  |  |  |

**Partie 5.1 :** Vérification des caractéristiques du piston

Lors de l’étape 2 et pour une pression de 250 bars, une simulation numérique dans la phase d’éjection des bobines filles a été établie en statique. On considère que la vitesse de rotation de la pelle est constante.

Les résultats sont inscrits dans le document DT13.

La première courbe correspond aux valeurs de la force appliquée par les tiges des deux vérins sur la pelle dans le sens de B vers C en fonction de leur angle de rotation.

La seconde courbe correspond aux valeurs de la course du piston en fonction de l’angle de rotation des vérins. Lorsque les valeurs de la course sont positives, le piston sort du corps du vérin et lorsque ces valeurs sont négatives, le piston rentre dans le corps du vérin.

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.1.1  Voir DT13 | Au regard de ces résultats, j**ustifier** le choix d’un vérin double effet. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.1.2  Voir DT13 | **Relever** sur la courbe la valeur de la force maximale appliquée par les deux vérins. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.1.3  Voir DT13 | **Calculer** le diamètre d’un piston permettant d’obtenir cet effort sous une pression de 250 bars. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.1.4  Voir DT13 | **Relever** sur la courbe la course maximale du piston. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.1.5  Voir DT12 | **Justifier** le choix des vérins au regard de vos résultats. |

**Partie 5.2 :** Réglage de la vitesse de déploiement du piston

On cherche à régler la vitesse de déploiement des vérins de la pelle d’éjection pour que les bobines filles s’arrêtent au bout de 4 m de roulage.

Une simulation de la vitesse des bobines filles en fin d’étape 2 répondant à cette contrainte a été réalisée. Elle a permis de déterminer la vitesse linéaire de l’ensemble pelle et bobines filles {2 ; 2’} par rapport au support {0} en 0, notée . Elle est indiquée sur le document réponse DR1. Sa valeur vaut .

L’ensemble des tracés demandés dans les questions suivantes seront réalisés sur le schéma du document réponse DR1.

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.2.1  DR1 | **Compléter** le graphe des liaisons cinématiques de la pelle d’éjection du document réponse DR1. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.2.2 | **Définir** le mouvement de l’ensemble {2 ; 2’} (bobines-pelle) par rapport au support {0}. **En déduire** la direction du vecteur vitesse de l’ensemble {2 ; 2’} (bobines-pelle) par rapport au support {0} au point C. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.2.3  DR1 | **Tracer** le vecteur de la vitesse de l’ensemble {2 ; 2’} (bobines-pelle) par rapport au support {0} au point C et **donner** sa valeur. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.2.4 | **Montrer que** par la loi des compositions des vitesses. |

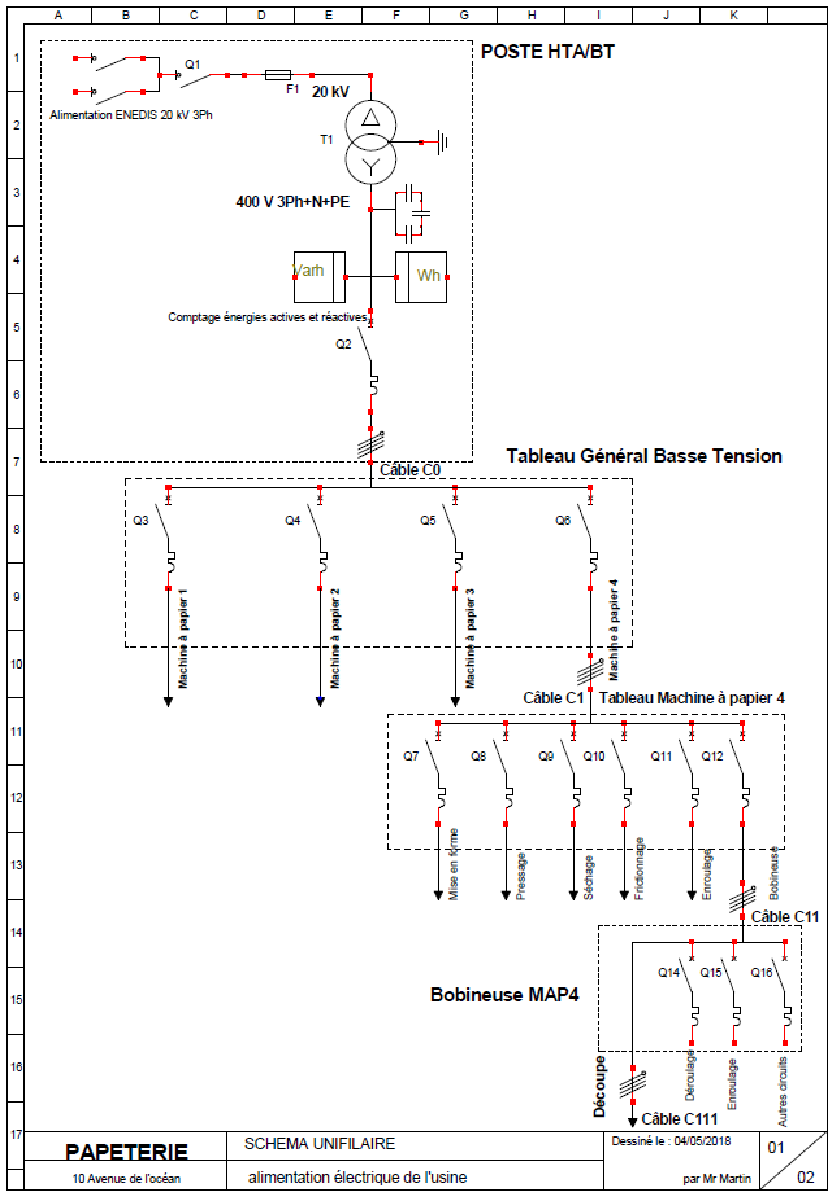
|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.2.5  DR1 | **Définir** le mouvement de la tige du vérin {1’} par rapport au corps du vérin {1}. **En déduire et tracer** la direction du vecteur vitesse de la tige du vérin {1’} par rapport au corps du vérin {1}. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.2.6  DR1 | **Définir** le mouvement du corps du vérin {1} par rapport au support {0}. **En déduire et tracer** la direction du vecteur vitesse du corps du vérin {1} par rapport au support {0}. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.2.7  DR1 | Sachant que par la loi de décomposition de vitesses, **déduire et tracer** le vecteur vitesse de la tige du vérin {1’} par rapport au corps du vérin {1}. **Reporter** sa valeur dans le document réponse DR1, puis **conclure** sur la vitesse de réglage du vérin. |

**DT1 : Renseignements relatifs aux moteurs et à la chute de tension dans un câble**

|  |
| --- |
| **Plaque signalétique Moteur d’un contre-couteau** |
|  |
| **Norme NF C15-100 relative à la chute de tension dans une installation électrique** |
|  |
| **Chute de tension dans un câble** |
| Les tableaux ci-dessous donnent la **chute de tension** en % dans 100 m de câble, en 400 V/50 Hz triphasé, en fonction de la section du câble et du courant d’emploi (In du récepteur).  Ces valeurs sont données pour un cos φ de 0,85 dans le cas d'un moteur et de 1 pour un récepteur non inductif.  Ces tableaux peuvent être utilisés pour des longueurs de câble L ≠ 100 m : il suffit d'appliquer au résultat le coefficient L/100.    **DT2 : Schéma unifilaire Alimentation électrique de l’usine** |



**ΔUC0(%)= 0,1%%**

**ΔUC1(%)= 1,5%%**

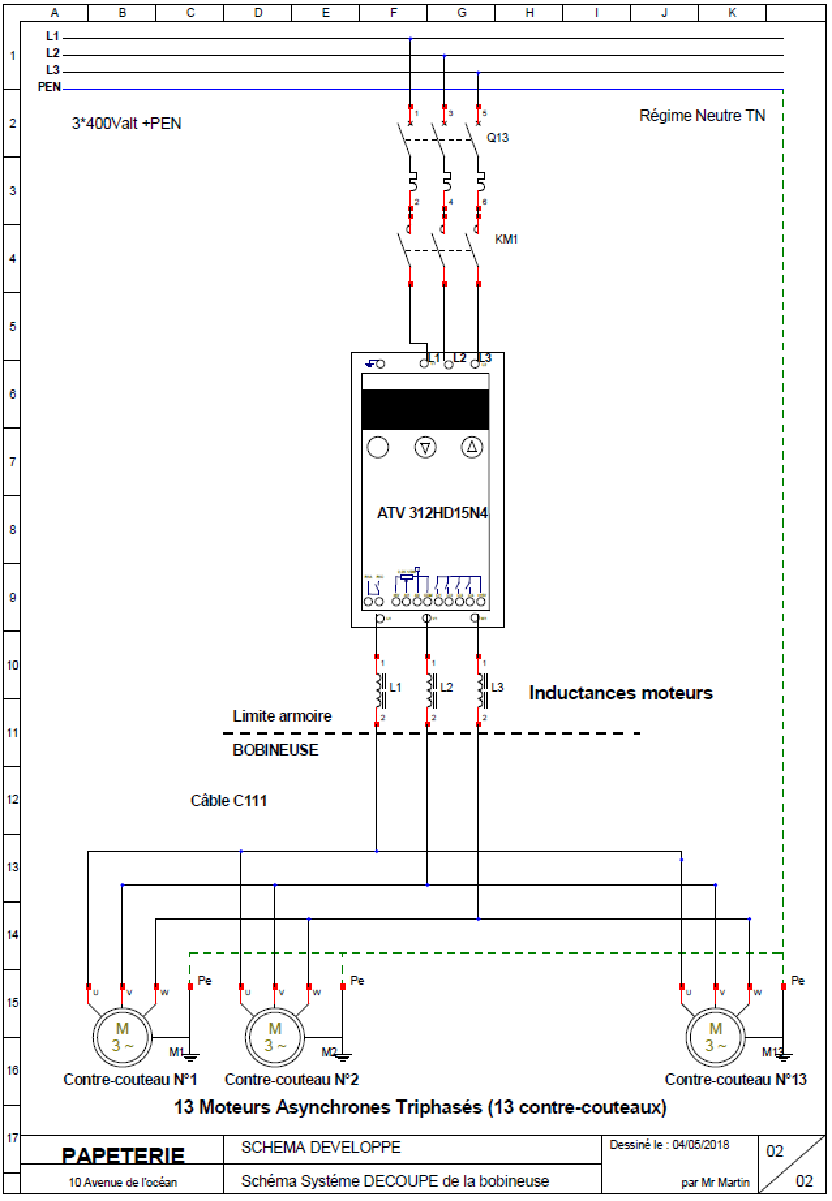
**ΔUC11(%)= 1%**

**ΔUC111(%) ?**

Batterie de condensateurs

**PRIVE**

**DT3 : Schéma développé système DECOUPE bobineuse**



RESEAU

3\*400V~

+PEN

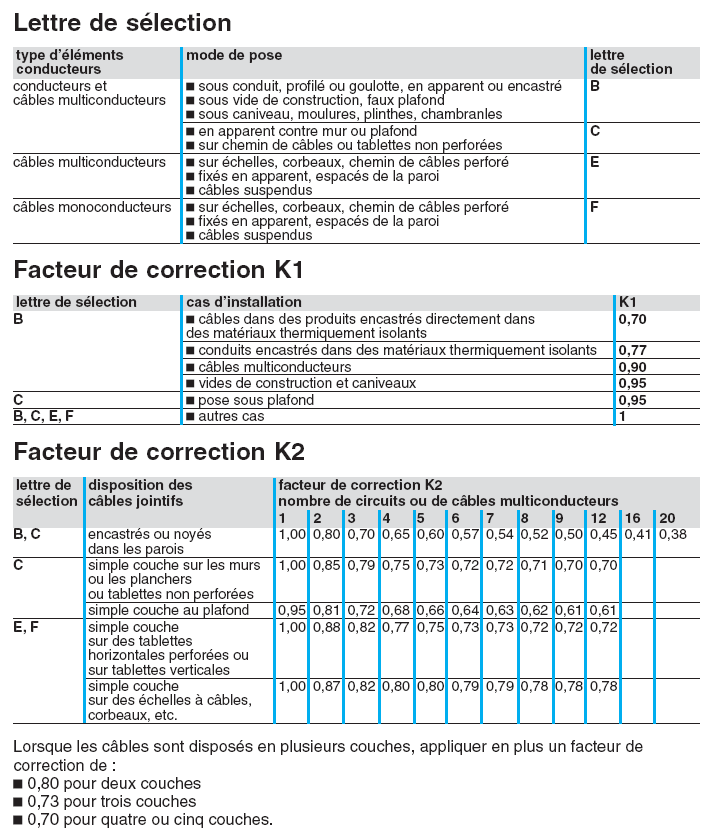
**DT4 : Choix de la section des câbles (lettre, K1, K2)**

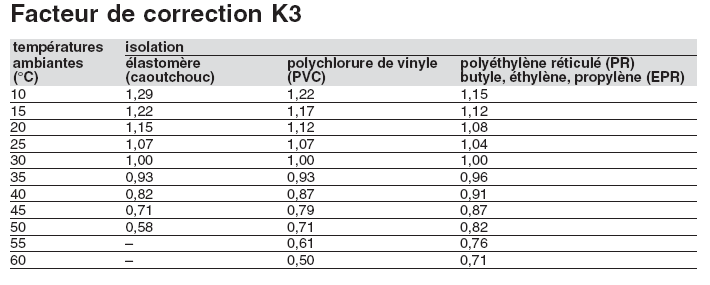
***PROTOCOLE :***

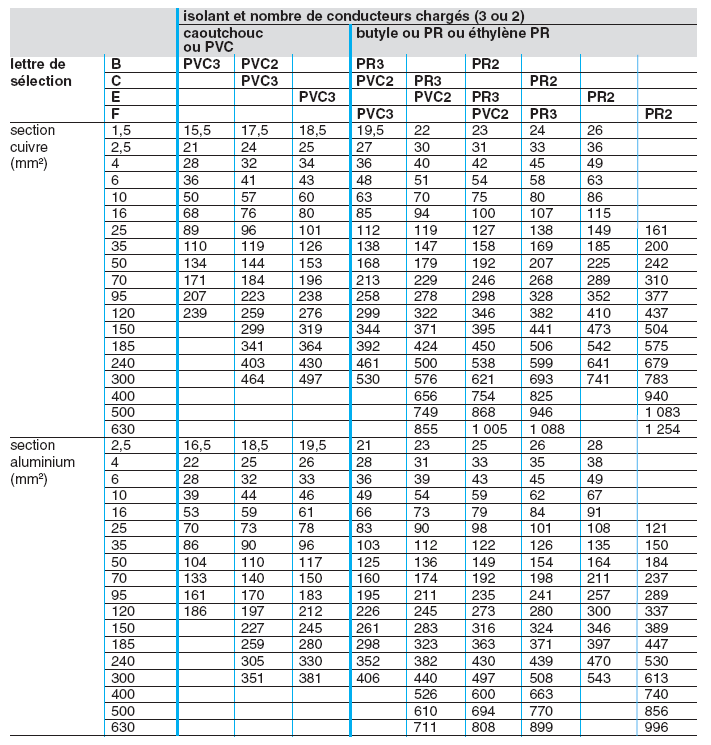
***1ère étape : Déterminer la lettre de sélection***

***2ème étape : Déterminer les facteurs K1, K2 et K3***

***3ème étape : Calculer Iz***

***4ème étape : Choisir la section du câble.***

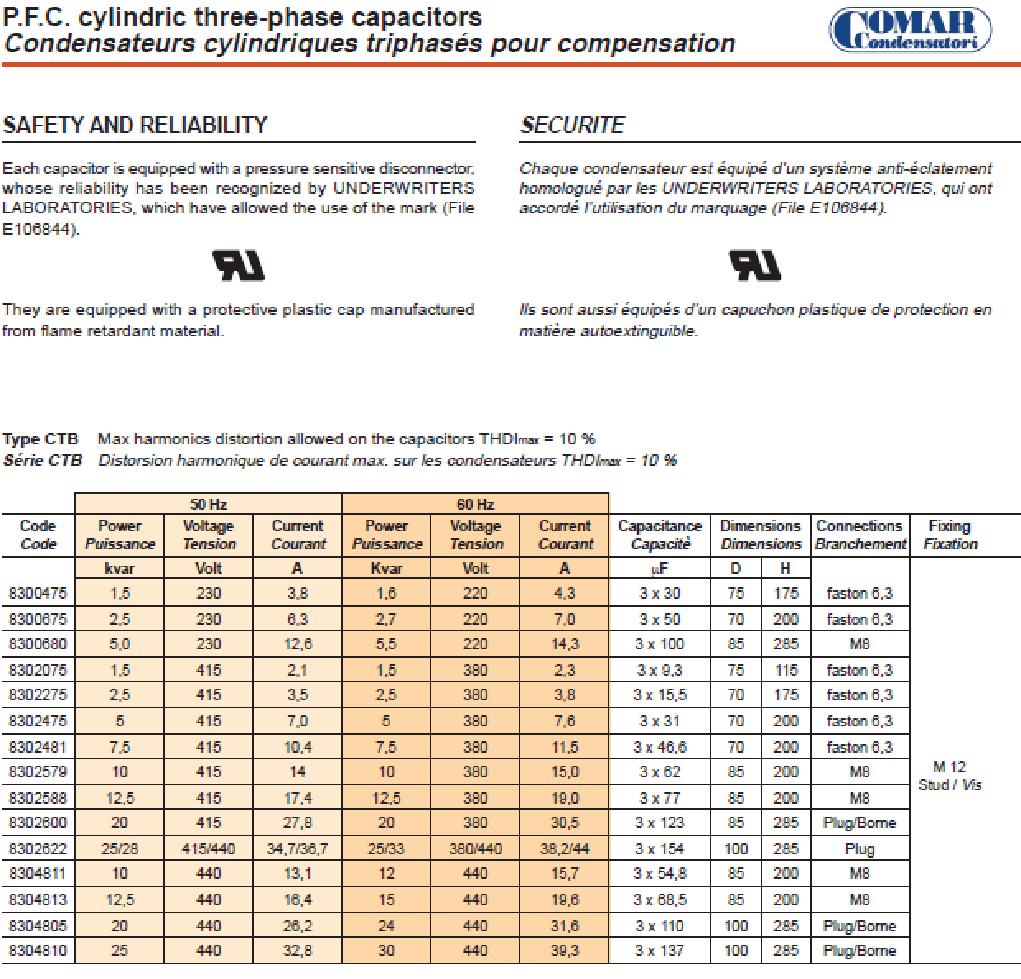
**DT5 : Choix de la section des câbles (K3, tableau des sections)** 

TABLEAU DES SECTIONS

**DT6 : Protection thermique des moteurs**

|  |
| --- |
| **Classe d’isolation des moteurs** |
|  |
| **Dispositifs de commande pour la protection thermique** |
| C:\Users\pierr\OneDrive\Images\Captures d’écran\2020-11-28 (2).png |

**DT7 : Batterie de condensateurs pour compensation du facteur de puissance**



**DT8 : Évolution des paramètres mécaniques de la bobine mère pendant le dévidage d’une feuille de papier de grammage 80 g·m-2 et de longueur 10 km**

A

B

B

A

B

**DT9 : Formulaire de mécanique**

Théorème de l'énergie cinétique :

Dans un repère (R) galiléen, la variation d’énergie cinétique **d’un solide** entre les dates t1 et t2 est égale à la somme des travaux des actions mécaniques extérieures appliquées sur (S) entre ces 2 dates :



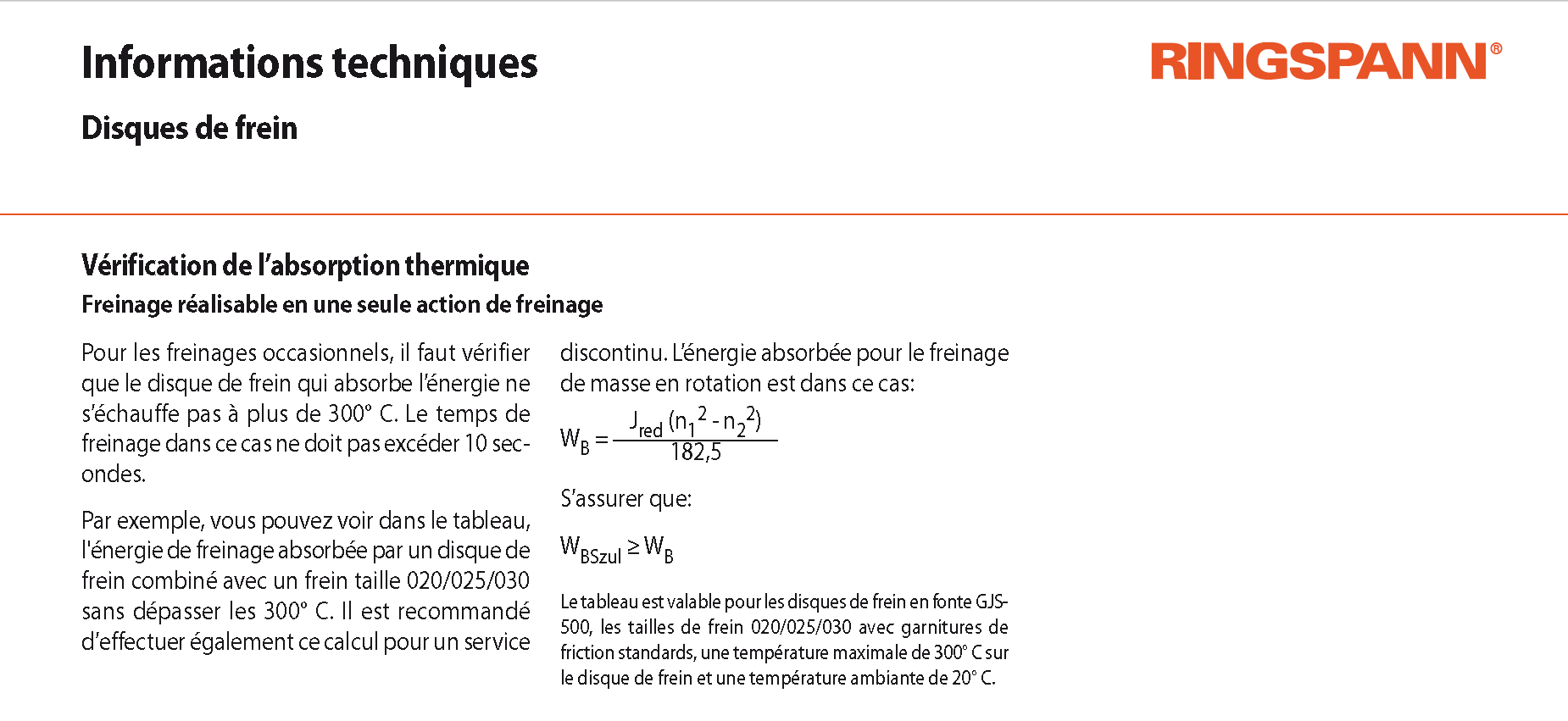
Travail d'un couple de force :



Expression de l'énergie cinétique pour un solide en rotation autour d'un axe fixe :



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| D | WBSzul | WBSzul |
|  | E = 12,5 mm | E = 25 mm |
| mm | J | J |
| 125 | 120 000 | - |
| 150 | 170 000 | - |
| 200 | 260 000 | - |
| 250 | 350 000 | - |
| 300 | 450 000 | - |
| 355 | 550 000 | 1 090 000 |
| 430 | 690 000 | 1 370 000 |
| 520 | 850 000 | 1 700 000 |
| 630 | - | 2 110 000 |
| 710 | - | 2 410 000 |
| 800 | - | 2 740 000 |
| 900 | - | 3 110 000 |
| 1000 | - | 3 480 000 |

**DT10 : Documentation disque de frein**

Jred [kg⋅m²] Moment d’inertie

n1 [tr⋅min-1] Vitesse de rotation avant freinage

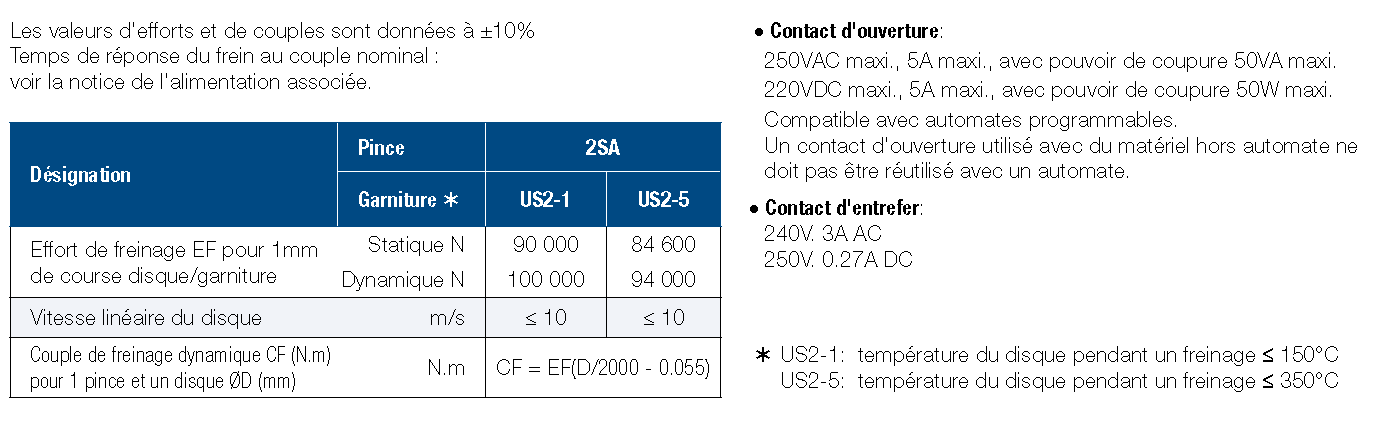
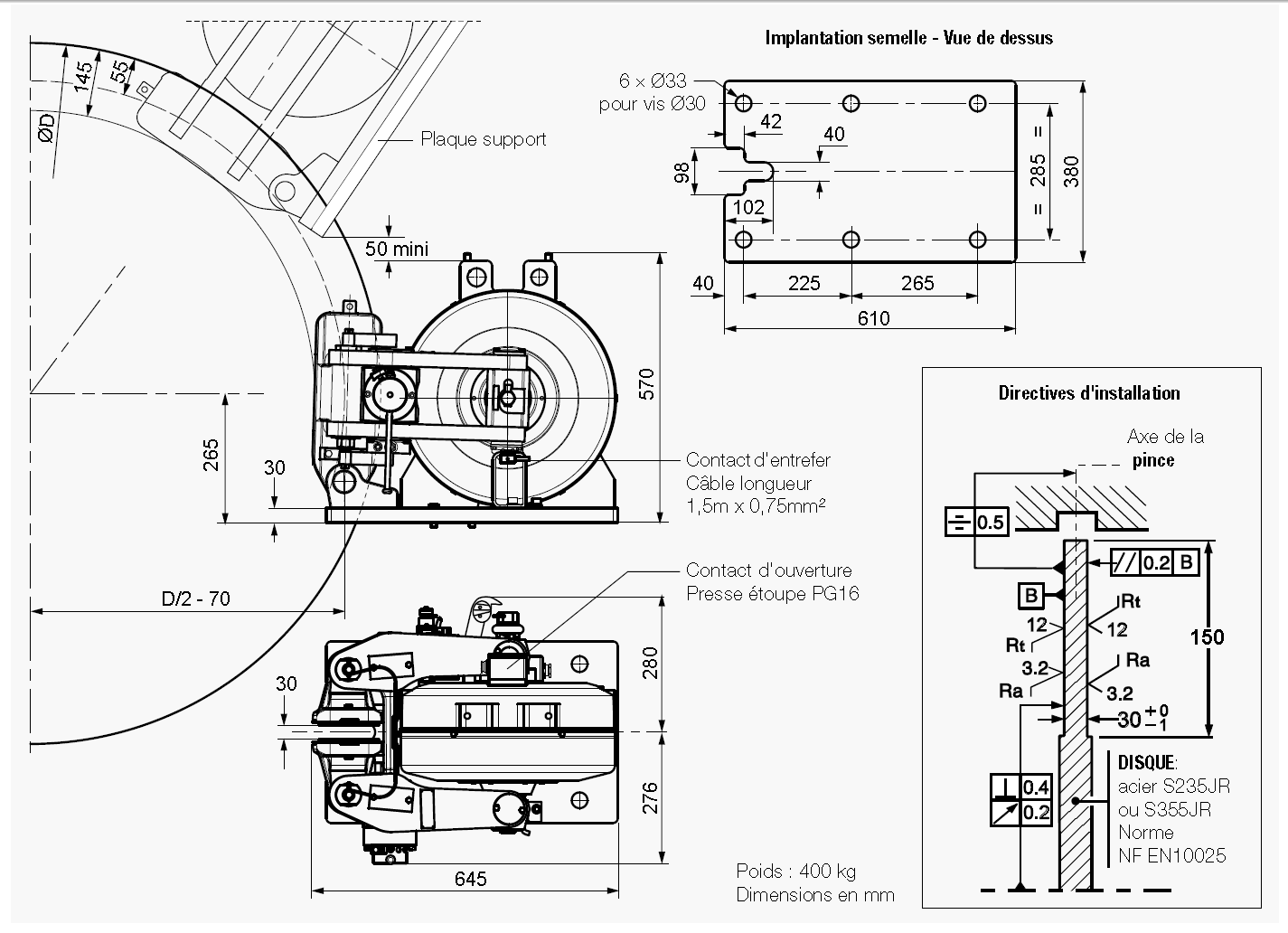
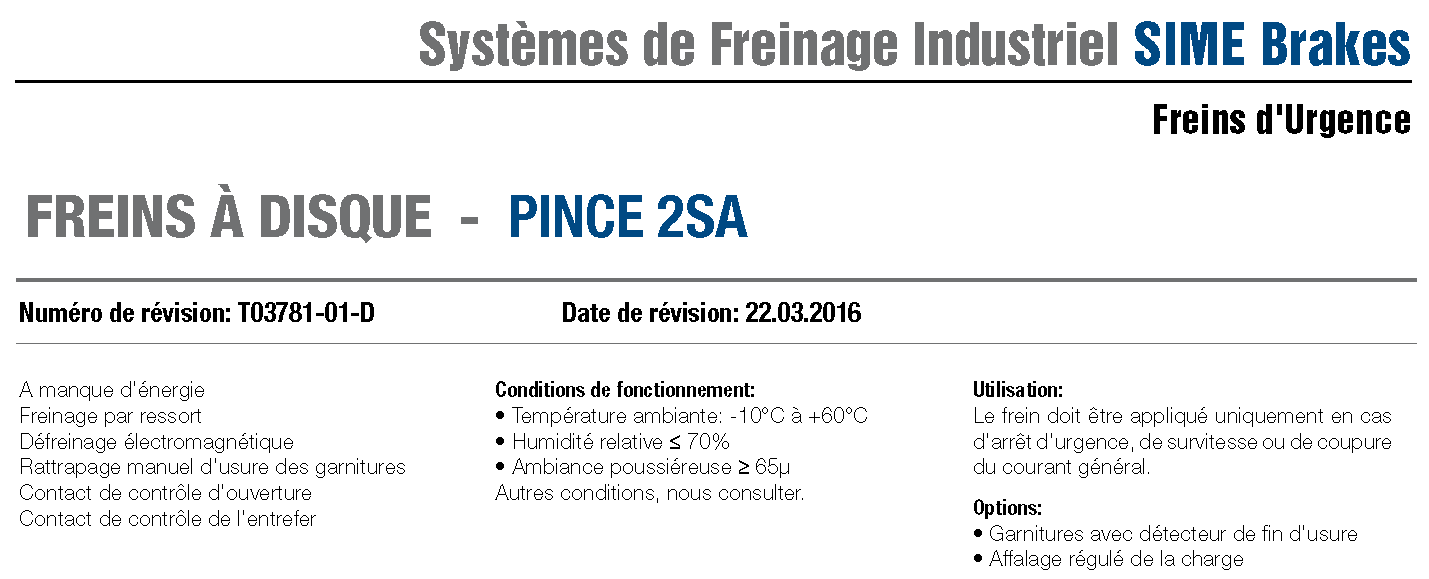
n2 [tr⋅min-1] Vitesse de rotation après freinage

E [mm] Epaisseur du disque de frein

WB [J] Energie de freinage générée par l’application

WBSzul [J] Energie dissipée par le disque de frein

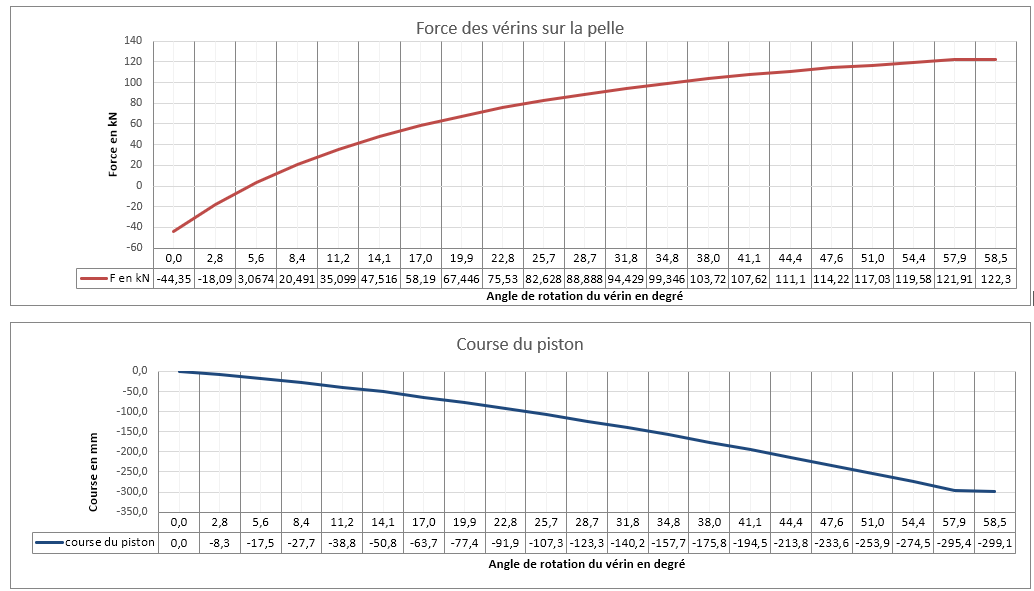
**DT11 : Documentation freinage d’urgence**



**DT12 : Documentation des vérins de la pelle d’éjection**

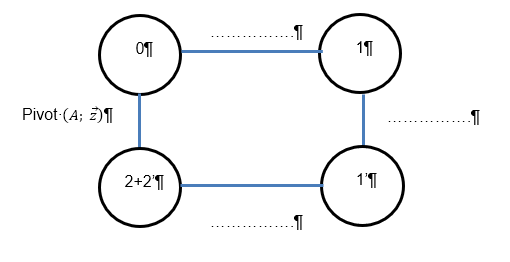
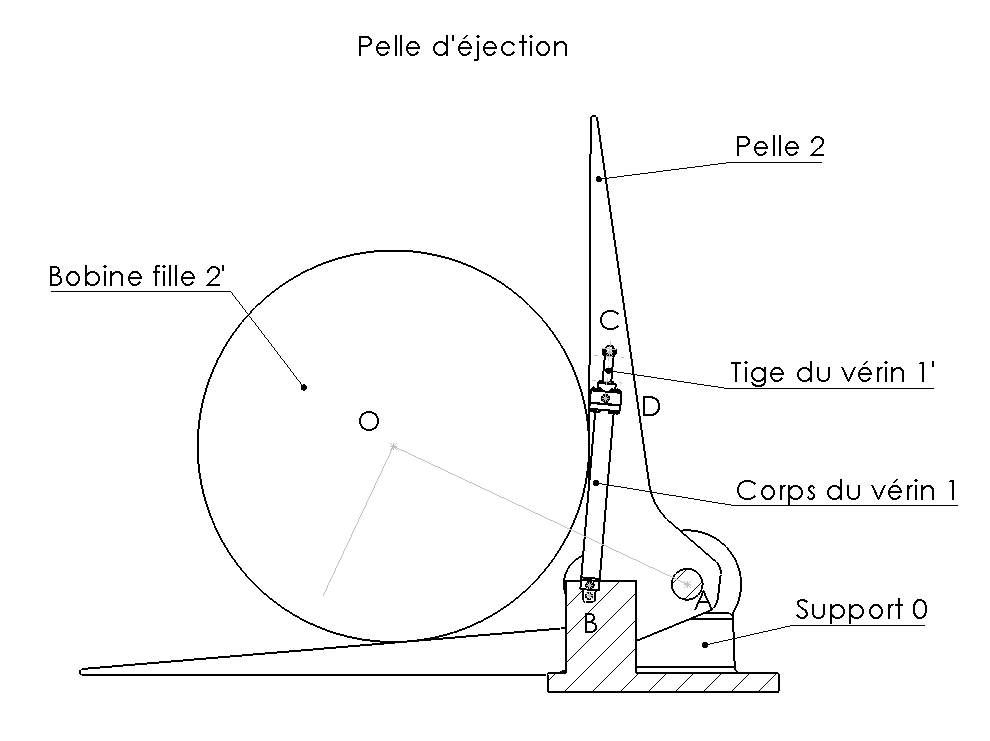
|  |  |
| --- | --- |
| Caractéristiques Vérin  série 350 V |  |
| Dimension en mm de la tige en fonction de l’alésage en mm(Ø piston) | |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | **40** | **50** | **63** | **80** | **100** | **125** | **140** | |  | 22 | 28 | 36 | 45 | 56 | 70 | 80 | |
| Extrait Norme ISO 4393:2015 sur les courses de vérin | **Courses standards** (pour tous les tubes)   |  | | --- | | de 0 jusqu’à 150, par 25 mm | | De 150 jusqu’à 500, par 50mm | | De 500 jusqu’à 1000, par 100mm | |

**DT13 : Relevés des efforts des 2 vérins et de leur course en fonction de l’angle de rotation du vérin.**

Représentation retranscrite sous le logiciel Excel

**DR1 : Questions partie 5.2**

Graphe des liaisons cinématiques de la pelle d’éjection



Echelle : 10 mm pour 0,1 m/s