

VOLET 2 : PRESENTATION DU SUPPORT

Le câble électrique est un composant permettant le transport de l'énergie électrique. Il est constitué d'un matériau conducteur multifilaire revêtu d'une couche isolante.

Pour faciliter le port et l'exploitation des câbles électriques, ils sont enroulés sur des bobines (ci-contre) en bois permettant le rangement facile et non encombrant de plusieurs centaines de mètres.

Le processus de conception et de fabrication des câbles électriques passe par les trois postes successifs suivants :



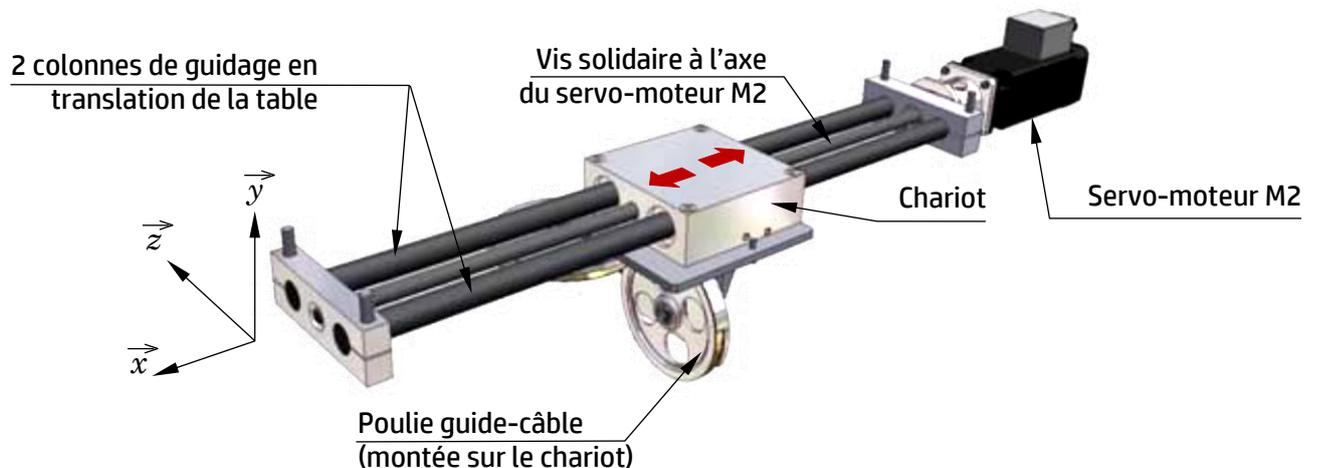
Poste de mise en forme et de calibrage

Poste de revêtement par couche isolante

Poste d'enroulement du câble sur la bobine

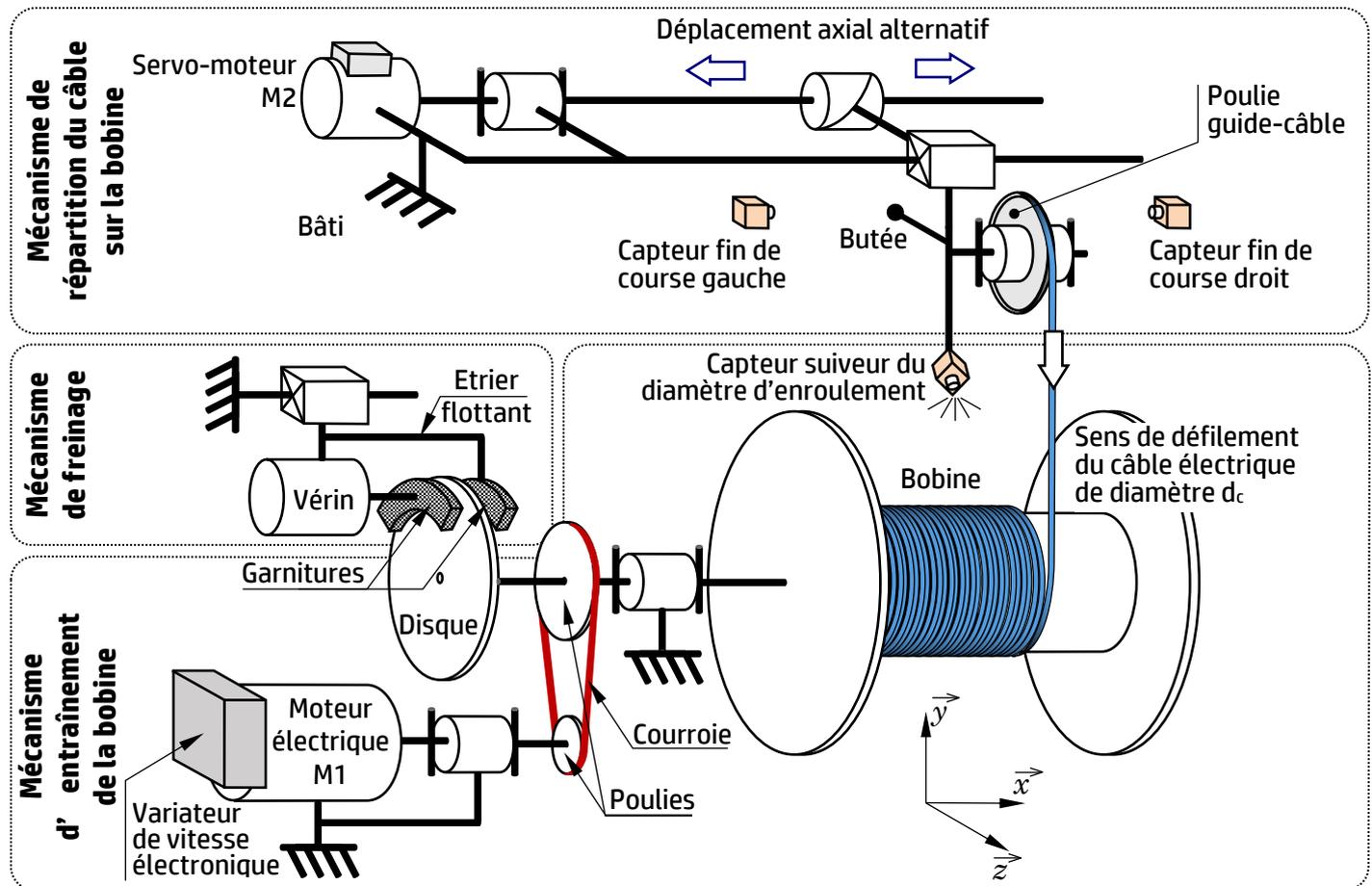
On s'intéressera au **poste d'enroulement du câble sur la bobine** (voir la représentation schématique des trois mécanismes **page 3/18**) qui permet d'**enrouler le câble électrique sur la bobine**. Ce poste utilise l'**énergie électrique** et **pneumatique**, Il est principalement constitué des trois mécanismes suivants :

- ✓ Le **mécanisme d'entraînement de la bobine** : assure la rotation de la bobine en l'adaptant à la vitesse linéaire **constante** de défilement du câble. La rotation de la bobine se fait à l'aide d'un moteur électrique **M1** commandé par un variateur de vitesse électronique, ce moteur permet de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation qui est transmise à la bobine par l'intermédiaire d'un système poulies-courroie.
- ✓ Le **mécanisme de répartition du câble sur la bobine (ci-dessous)** : permet le déplacement axial alternatif suivant l'axe \vec{x} de la poulie guide-câble le long de la bobine, au moyen d'un servomoteur **M2** et d'un système vis-écrou, afin d'assurer un enroulement régulier du câble électrique sur la bobine. La combinaison de la rotation, par rapport au bâti, de la bobine autour de l'axe \vec{x} et la translation de la poulie guide-câble suivant le même axe engendre un mouvement hélicoïdal du câble sur la bobine d'un pas p_e égal au diamètre d_c du câble.



- ✓ Le **mécanisme de freinage** : en cas d'incident de fonctionnement, le freinage de la bobine est assuré par un frein constitué des éléments suivants : Étrier flottant, vérin, disque et garnitures.

Représentation schématique des trois mécanismes :



Les objectifs de l'étude partielle du poste d'enroulement du câble sur la bobine sont :

- Appréhender et analyser le fonctionnement du système étudié ;
- Vérifier et valider quelques caractéristiques de la chaîne fonctionnelle ;
- Vérifier la résistance mécanique d'un composant ;
- Étudier partiellement le dossier de fabrication d'une pièce.

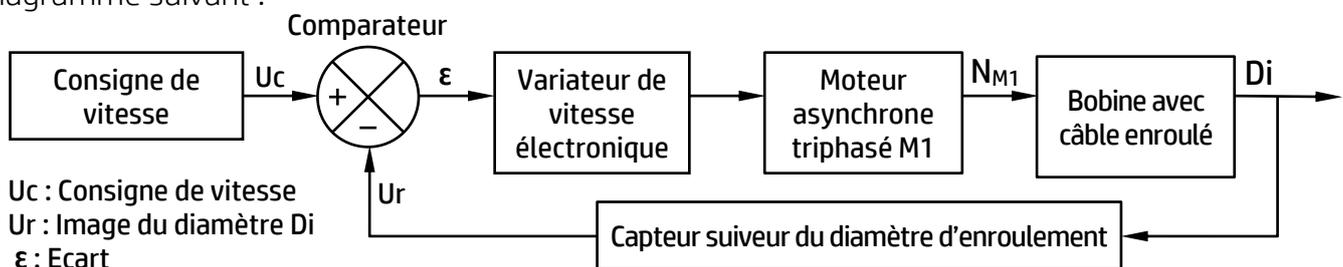
VOLET 3 : SUBSTRAT DU SUJET

Situation d'évaluation n°1 :

Avant d'étudier le poste d'enroulement du câble électrique sur la bobine, il est indispensable de comprendre son fonctionnement. Pour cela, on vous demande d'effectuer les tâches suivantes :

Tâche 11 : L'objectif de la tâche est d'analyser le fonctionnement du poste d'enroulement du câble sur la bobine. En se référant à la présentation du support (page 2/18), répondre aux questions des (DREP pages 6/18 et 7/18).

Tâche 12 : L'asservissement de la vitesse de rotation de la bobine est modélisé par le bloc diagramme suivant :



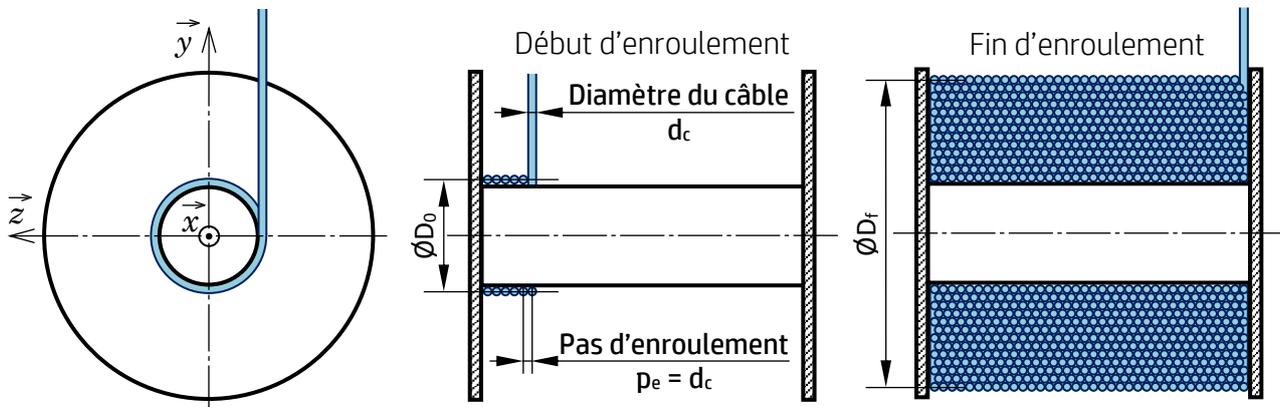
Cet asservissement permet d'adapter la vitesse de rotation de la bobine à la variation du diamètre d'enroulement. Pour cela, on utilise un variateur de vitesse électronique commandant le moteur asynchrone triphasé **M1** qui entraîne la bobine en rotation. La tension électrique, issue d'un capteur suiveur du diamètre d'enroulement du câble électrique, fournit une tension **Ur**, image du diamètre instantané **Di** d'enroulement du câble sur la bobine. En se référant au bloc diagramme d'asservissement de la vitesse de rotation de la bobine (page **3/18**), répondre aux questions du (**DREP** page **8/18**).

Tâche 13 : Le montage de la poulie guide-câble sur l'arbre **34** est représenté par le dessin d'ensemble incomplet (**DRES** page **16/18**). La liaison pivot de la poulie par rapport à l'axe **34** est assurée par un roulement à deux rangées de billes à contact oblique **37**. Ce roulement est protégé par le couvercle **35** fixé sur la poulie **31** par quatre vis CHc **39**. Le réglage du jeu axial entre la bague extérieure du roulement **37** et le couvercle **35** est assuré par une cale de réglage **32** (non représentée) montée entre la poulie **31** et le couvercle **35**. Répondre aux questions du (**DREP** page **8/18**).

Situation d'évaluation n°2 :

On cherche à vérifier la cinématique du mécanisme d'entraînement de la bobine et celui de répartition du câble sur la bobine et à valider une exigence du cahier des charges fonctionnel concernant le couple de freinage. Le chargement/déchargement de la bobine se fait à l'aide d'un élévateur à support horizontal (non représenté) dont on vérifiera la résistance mécanique.

Tâche 21 : Le but de la tâche est d'étudier le comportement cinématique du mécanisme d'entraînement de la bobine. En se référant à la présentation du support (page **2/18**) et au schéma ci-dessous de la bobine en phase début et phase fin d'enroulement du câble électrique, répondre aux questions du (**DREP** page **9/18**).



Tâche 22 : Le but de la tâche est d'étudier le comportement cinématique du mécanisme de répartition du câble sur la bobine permettant l'enroulement régulier du câble électrique le long de la bobine. En se référant à la présentation du support (pages **2/18** et **3/18**) et au schéma ci-dessus de la bobine en phase début et phase fin d'enroulement du câble, répondre aux questions du (**DREP** page **10/18**).

Tâche 23 : Pour répondre aux exigences du cahier des charges fonctionnel, le bureau d'études impose un couple de freinage de la bobine compris entre **40 N·m** et **50 N·m**. Afin de valider ce couple assuré par le mécanisme de freinage (pages **2/18** et **3/18**), répondre aux questions du (**DREP** page **10/18**).

Tâche 24 : L'élévateur est un engin qui permet, au moyen d'un **support horizontal**, de monter la bobine vide sur le poste d'enroulement du câble sur la bobine, et de la démonter une fois pleine. Ce support horizontal est modélisé par une poutre encastree à une extrémité et soumise à deux charges concentrées. On étudiera, sur (**DREP** pages **11/18** et **12/18**), le comportement mécanique du support horizontal de l'élévateur dans le cas d'une bobine pleine.

Situation d'évaluation n°3 :

A cause de son frottement continu avec le câble électrique, la poulie guide-câble **31** (DRES pages **16/18** et **17/18**) s'use de manière systématique. On souhaite la fabriquer en série par lots de 200 pièces/mois pendant 3 mois. Vous êtes chargés d'étudier partiellement son dossier de fabrication.

Tâche 31 : La lecture du dessin de définition de la poulie guide-câble **31** et l'interprétation des spécifications incluses sont essentielles pour élaborer son dossier de fabrication, et permettre de justifier les modalités de son montage sur le bout d'arbre. En se référant au dessin de définition et à l'avant-projet d'étude de fabrication de la poulie guide-câble (DRES pages **17/18** et **18/18**), répondre aux questions du (DREP page **12/18**).

Tâche 32 : Pour valider le choix de la machine et étudier la mise en position isostatique et le maintien en position de la poulie guide-câble, répondre aux questions des (DREP pages **13/18** et **14/18**) en se référant au dessin de définition et à l'avant-projet d'étude de fabrication de la poulie guide-câble (DRES pages **17/18** et **18/18**).

Tâche 33 : L'opération de tournage de (D1-F1, D2-F2, D3-F3, D4) en phase **10** sera assurée par un outil à aléser à plaquette rapportée en carbures métalliques. On dispose d'un stock de **10** plaquettes, chaque plaquette est dotée de deux arêtes coupantes. On vous demande de vérifier la possibilité de fabriquer le premier lot (soit 200 pièces) en se limitant aux plaquettes disponibles. Répondre aux questions du (DREP page **15/18**).

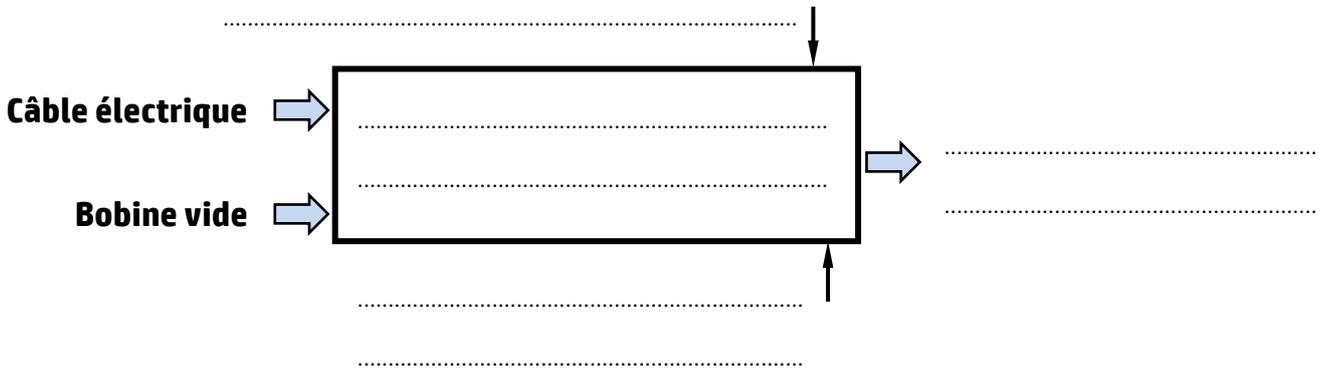
Tâche 34 : La phase **10** de tournage spécifiée dans l'avant-projet d'étude de fabrication de la poulie guide-câble (DRES page **18/18**) est réalisée sur un tour à commande numérique. Pour préparer cette fabrication, répondre aux questions du (DREP page **15/18**).

DOCUMENTS REponses (DREP)

Situation d'évaluation n°1 :

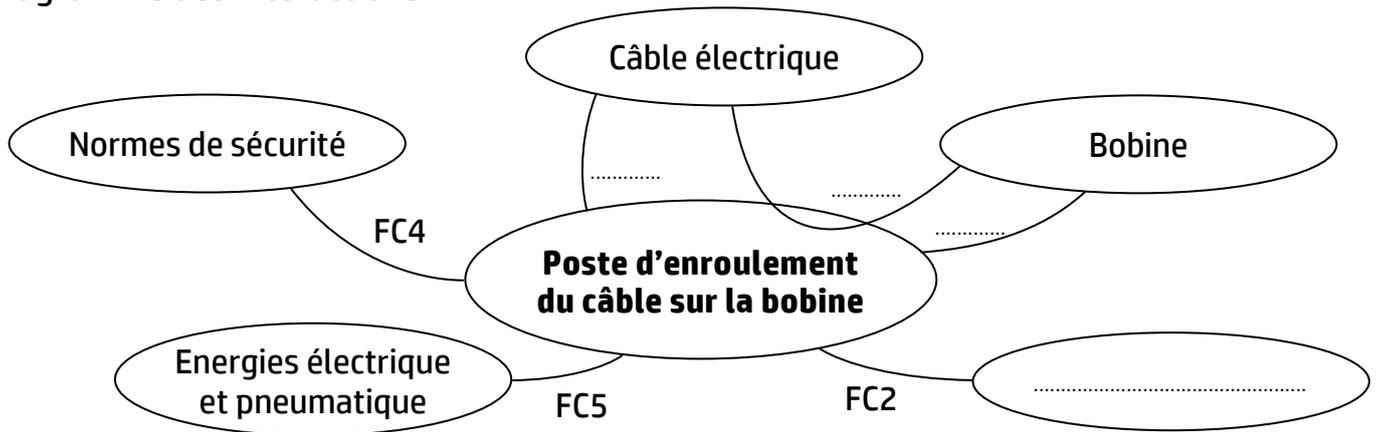
Tâche 11 : Analyse fonctionnelle du poste d'enroulement du câble électrique sur la bobine.

a. Compléter l'actigramme suivant en se référant à la présentation du support (page 2/18) : /2 pts



b. Compléter le diagramme des interactions et la liste des fonctions de services ci-dessous : /3 pts

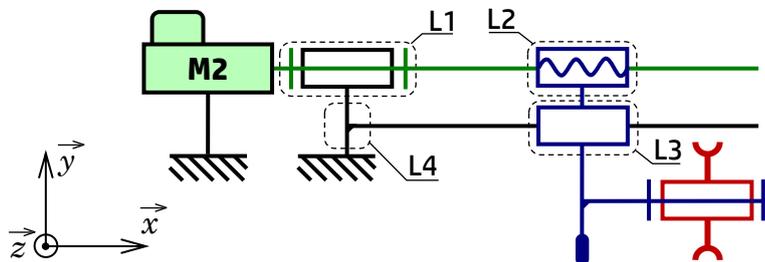
Diagramme des interactions :



Fonctions de service :

- | | |
|--|---|
| <p>FP : Enrouler le câble électrique sur la bobine ;</p> <p>FC1 : S'adapter à la tension et à la vitesse de défilement du câble électrique ;</p> <p>FC2 : Respecter l'environnement ;</p> | <p>FC3 : Assurer le chargement/déchargement de la bobine ;</p> <p>FC4 :</p> <p>FC5 :</p> |
|--|---|

c. Compléter le tableau de la page 7/18 en se référant au schéma cinématique du mécanisme de répartition du câble sur la bobine suivant : /3 pts



Repère de la liaison	Nom de la liaison	Degré(s) de liberté	Cocher les cases convenables						
			Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz	Conjugués
L1							
L2							x
L3							
L4							

d. Compléter le diagramme FAST relatif à la fonction FP (voir la représentation schématique des trois mécanismes page 3/18) : /2,5 pts

Fonctions de service

Fonctions techniques

Solutions constructives

FP

Enrouler le câble électrique sur la bobine

FT1

Entraîner la bobine en rotation

FT11

Varier la fréquence de rotation

FT12

FT13

Transmettre la puissance mécanique à la bobine

FT2

Répartir le câble axialement le long de la bobine

FT21

Convertir l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation

FT22

Moteur électrique (M1)

Système vis-écrou

Tâche 12 : Asservissement de la vitesse de rotation de la bobine.

a. Quel est le rôle du capteur suiveur du diamètre d'enroulement ? /0,5 pt

.....

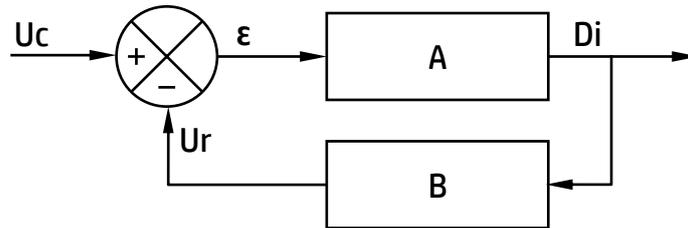
b. Quel est l'élément qui permet de comparer la consigne de vitesse U_c et l'image U_r du diamètre D_i d'enroulement du câble sur la bobine ? /0,5 pt

.....

c. Exprimer l'écart ε . /0,5 pt

.....

d. Pour calculer les fonctions de transfert en boucle ouverte **FTBO** et en boucle fermée **FTBF**, utilisez le schéma de la figure suivante :



d1. Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte **FTBO**. /0,5 pt

.....

d2. Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée **FTBF** = D_i/U_c . /0,5 pt

.....

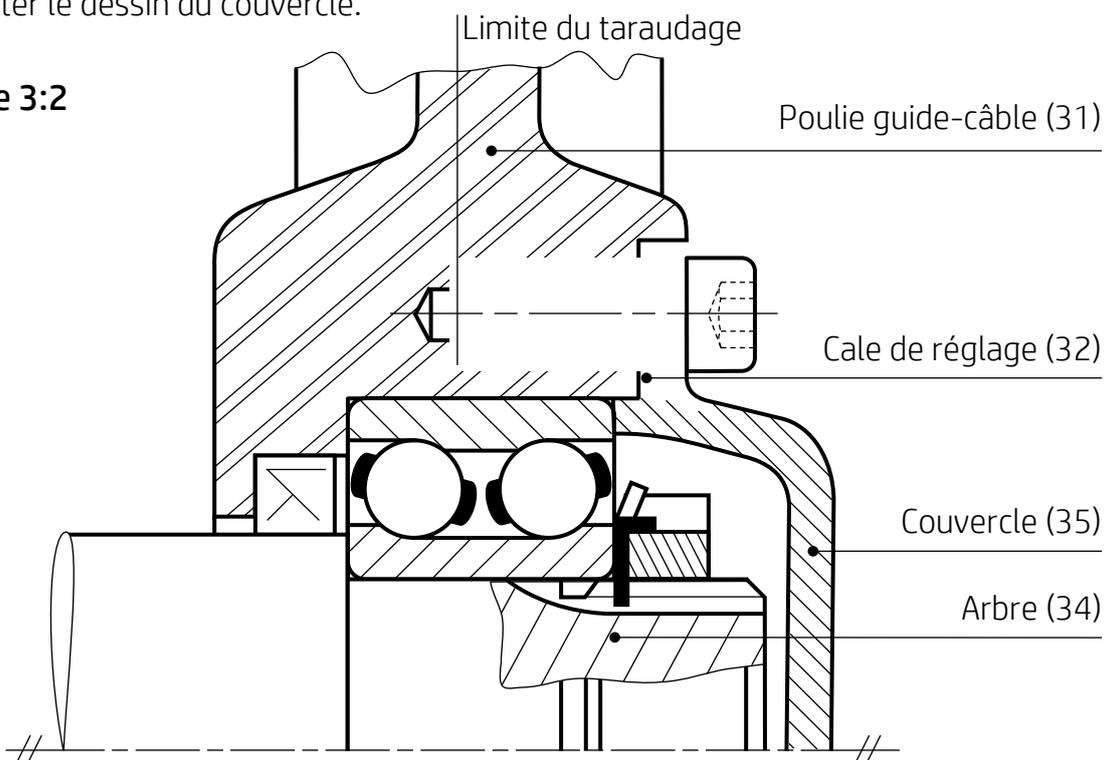
Tâche 13 : Montage partiel de la poulie guide-câble 31 sur l'arbre 34.

a. Compléter le dessin du trou taraudé et de la vis de fixation CHc M6×16 (tige complètement filetée). /2 pts

b. Mettre en place la cale de réglage 32, d'une épaisseur d'environ 1 mm, montée entre la poulie guide-câble 31 et le couvercle 35. /0,5 pt

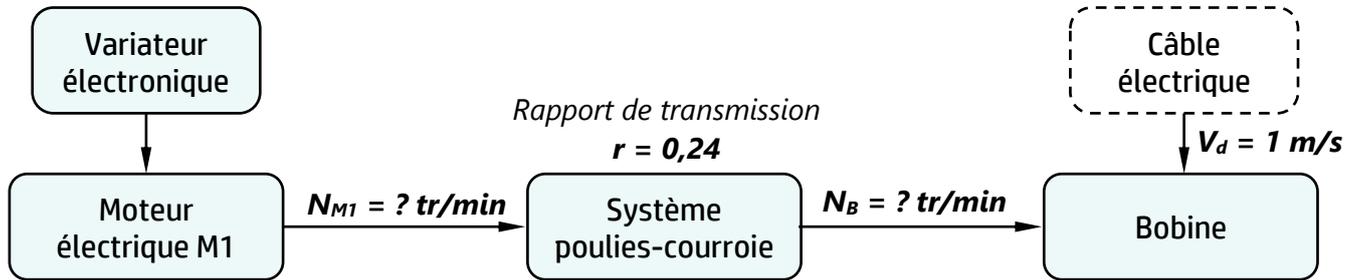
c. Compléter le dessin du couvercle. /1 pt

Echelle 3:2



Situation d'évaluation n°2 :

Tâche 21 : Comportement cinématique du mécanisme d'entraînement de la bobine.



- a. Calculer, d'après la modélisation ci-dessous, la vitesse angulaire ω_B (rad/s) de la bobine à un instant donné et en déduire sa fréquence de rotation N_B (tr/min).
 On donne : Diamètre instantané d'enroulement $D_i = 397,88$ mm. /1,5 pt

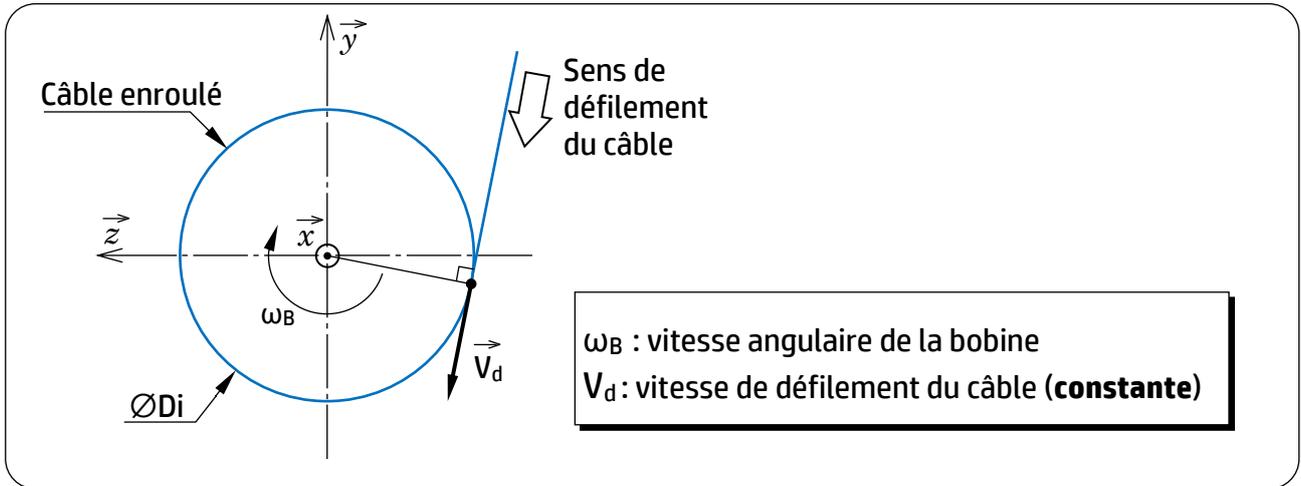
.....

.....

.....

.....

.....



- b. Déterminer la fréquence de rotation N_{M1} (tr/min) du moteur **M1** : /1 pt

.....

.....

.....

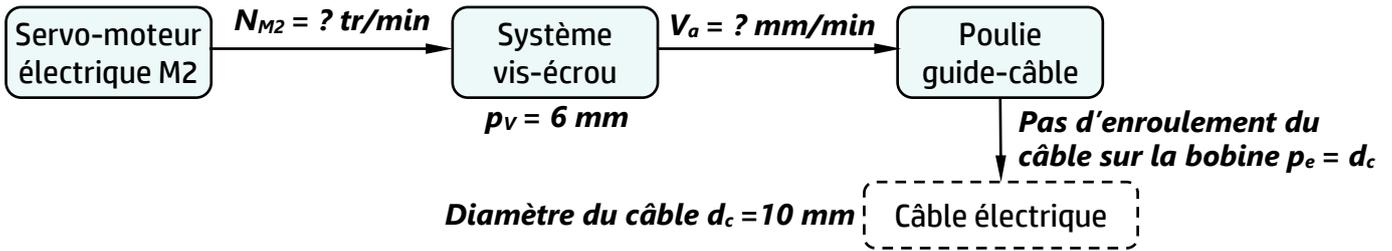
- c. Conclure à propos de la variation de la fréquence de rotation N_{M1} du moteur **M1** lorsque le diamètre d'enroulement D_i augmente (de D_0 à D_f) au fur et à mesure que le câble s'enroule sur la bobine (Tâche 21 page 4/18) sachant qu'on peut exprimer la fréquence de rotation comme suit :

$$N_{M1} = \frac{k}{D_i} \text{ avec } k \text{ constante.} \quad /1 \text{ pt}$$

.....

.....

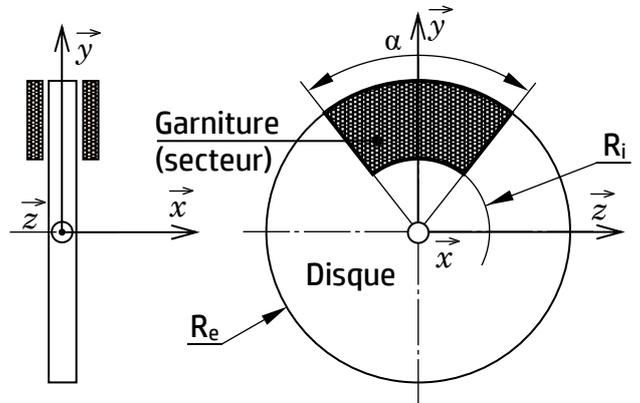
Tâche 22 : Comportement cinématique du mécanisme de répartition du câble sur la bobine.



- Montrer que la vitesse de déplacement axial alternatif de la poulie guide-câble le long de la bobine est $V_a = 480 \text{ mm/min}$ sachant que cette poulie se déplace d'un pas p_e pour un tour de la bobine. Prendre $N_B = 48 \text{ tr/min}$. /1,5 pt
- Calculer la fréquence de rotation N_{M2} (tr/min) du Servo-moteur **M2**. Rappelons que $p_v = 6 \text{ mm}$. /1,5 pt
- Montrer que la relation entre la fréquence de rotation N_{M2} du moteur **M2** et la fréquence de rotation N_{M1} du moteur **M1** (calculée en question **b** page 9/18) est $N_{M2} = r \frac{p_e}{p_v} N_{M1}$ /2 pts

Tâche 23 : Validation du couple de freinage.

Données vérin	Pression d'alimentation du vérin $P_a = 5 \text{ bar} = 0,5 \text{ N/mm}^2$ Diamètre du piston $d_p = 90 \text{ mm}$
Données freinage	Nombre de contacts $n = 2$ Coefficient de frottement $f = 0,45$ Rayon extérieur $R_e = 125 \text{ mm}$ Rayon intérieur $R_i = 75 \text{ mm}$



- Calculer l'effort presseur F_P engendré par la pression P_a . /1 pt
- Pour simplifier le calcul du couple de freinage, on procède en deux étapes :
 - Calculer le couple de freinage C_f (N·m) pour une couronne de garniture (cas où $\alpha = 360^\circ$). /1,5 pt
 - Calculer le couple de freinage C_{fs} (N·m) pour un secteur (cas étudié, figure ci-dessus) d'angle au sommet $\alpha = 60^\circ$ sachant que $C_{fs} = C_f \frac{\alpha}{360}$. /1 pt
- Comparer C_{fs} avec les exigences du cahier des charges fonctionnel (page 4/18) et conclure. /1 pt

Tâche 24 : Comportement mécanique du support de la bobine (voir modélisation ci-dessous).

a. Déterminer la réaction R_C au point C : /1,5 pt

.....

b. Déterminer le moment d'encastrement \mathcal{M}_C au point C : /1,5 pt

.....

c. Ecrire les expressions de l'effort tranchant T_y le long de la poutre AC : /1,5 pt

Pour la suite des calculs, prendre : $R_C = 2000$ N et $\mathcal{M}_C = 900$ N·m

Zone AB : A.N. : T_y (AB) =

.....

Zone BC : A.N. : T_y (BC) =

.....

d. Exprimer et calculer le moment fléchissant \mathcal{M}_{fz} le long de la poutre AC : /1,75 pt

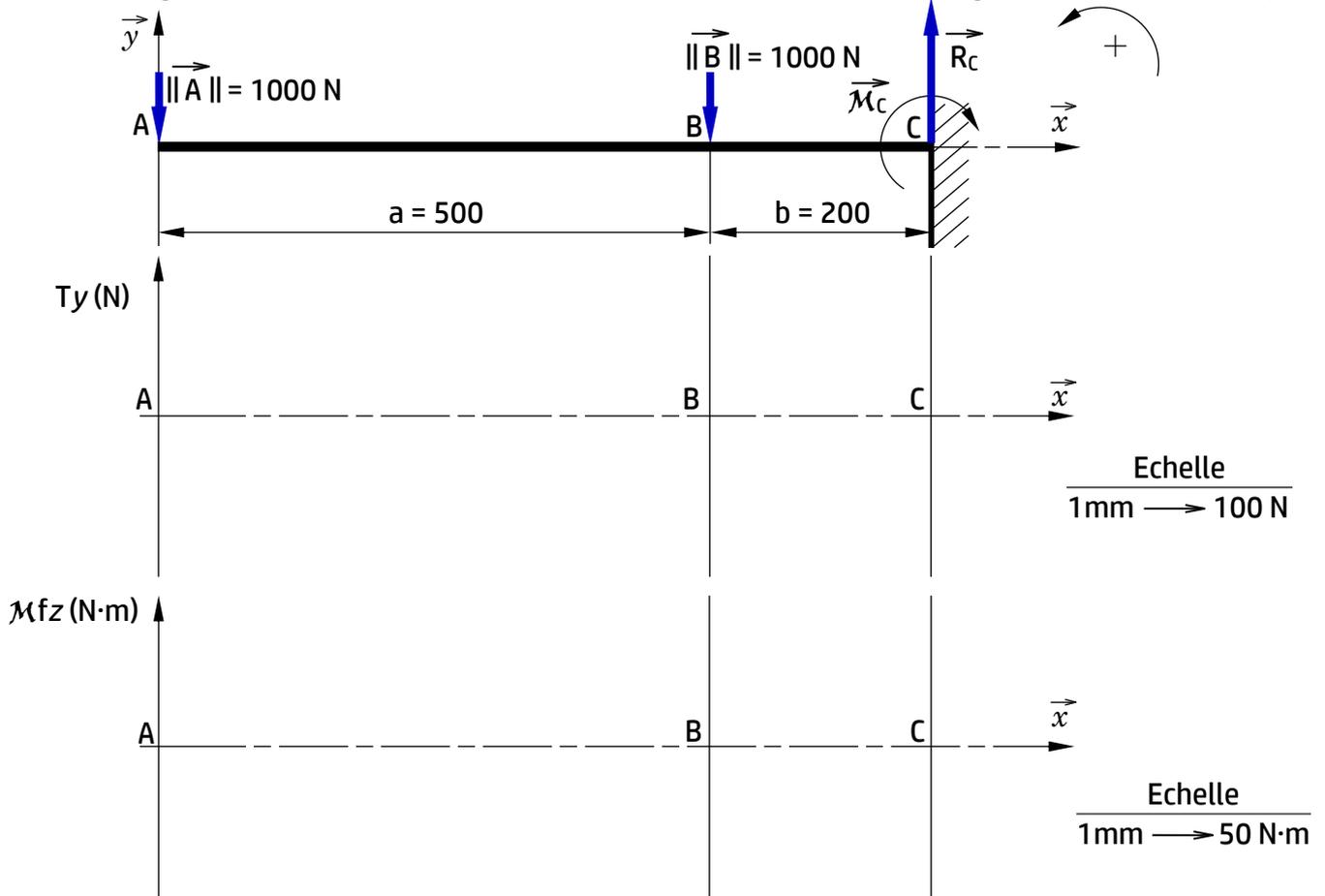
Zone AB : A.N. : \mathcal{M}_{fz} (A) =

..... A.N. : \mathcal{M}_{fz} (B) =

Zone BC : A.N. : \mathcal{M}_{fz} (B) =

..... A.N. : \mathcal{M}_{fz} (C) =

e. Tracer les diagrammes de l'effort tranchant et du moment fléchissant le long de la poutre AC. /2 pts



f. Déduire la section dangereuse (la plus sollicitée) de la poutre.

/0,5 pt

g. Vérifier la condition de résistance et conclure.

/1,25 pt

On donne : Résistance à la limite d'élasticité $R_e = 275 \text{ N/mm}^2$;

Coefficient de sécurité $s = 3$;

Module de flexion $I_{Gz/v} = 10,5 \times 10^3 \text{ mm}^3$.

Situation d'évaluation n°3 :

Tâche 31 : Lecture du dessin de définition et interprétation des spécifications incluses.

a. Expliquer la désignation du matériau de la poulie guide-câble (Al Cu 4 Mg Si).

/1,5 pt

b. Compléter le tableau suivant en :

/3 pts

- indiquant le nom du procédé d'obtention du brut de la poulie guide-câble ;
- cochant les caractéristiques convenables de la **matière d'œuvre entrante**.

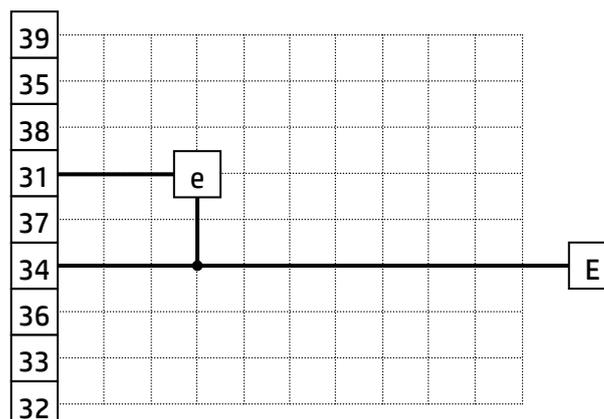
Nom du procédé	Caractéristiques de la matière d'œuvre entrante		
	Etat	Forme	Technique de mise en forme
	<input type="checkbox"/> Solide	<input type="checkbox"/> Fluide	<input type="checkbox"/> Compactage
	<input type="checkbox"/> Liquide	<input type="checkbox"/> Flan	<input type="checkbox"/> Formage
	<input type="checkbox"/> Poudre	<input type="checkbox"/> Lopin	<input type="checkbox"/> Fusion

c. Interpréter la spécification géométrique $D2 \begin{matrix} \text{Ø} \\ \text{0,02} \end{matrix}$ et faire un schéma explicatif.

/4 pts

d. Compléter le graphe de montage visant la mise en place de la poulie guide-câble sur le bout d'arbre 34 (voir DRES page 16/18) en respectant l'ordre logique de mise en place des composants.

/3,5 pts



Tâche 32 : Validation du choix de la machine et étude de la mise et le maintien en position isostatique.

L'ébauche de la phase **10** se fera selon les conditions suivantes : $V_c = 100$ m/min ; $a = 2$ mm ; $f = 0,1$ mm/tr ; coefficient spécifique de coupe $K_c = 180$ daN/mm². En se référant au dessin de définition de la poulie guide-câble et à l'avant-projet d'étude de fabrication (**DRES** pages **17/18** et **18/18**), répondre aux questions suivantes :

a. Calculer l'effort de coupe F_c (N) et en déduire la puissance de coupe correspondante P_c (kW). /2 pts

.....
.....

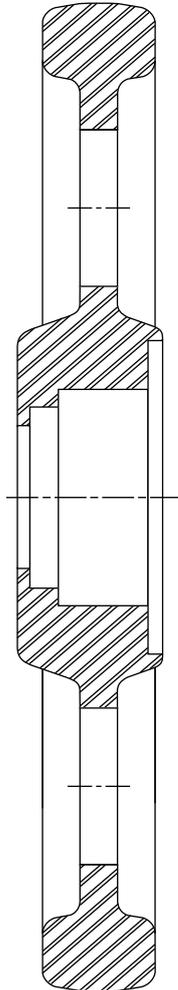
b. Comparer la puissance de coupe avec la puissance $P_{c_{max}}$ fournie par le moteur de la machine et conclure s'il est capable d'effectuer cet usinage. On donne :

Puissance du moteur de la machine $P_M = 3$ kW ; Rendement de la machine $\eta = 0,82$. /1,5 pt

.....
.....

c. Placer sur le croquis de la phase **10** de la poulie guide-câble (ci-dessous) : /6 pts

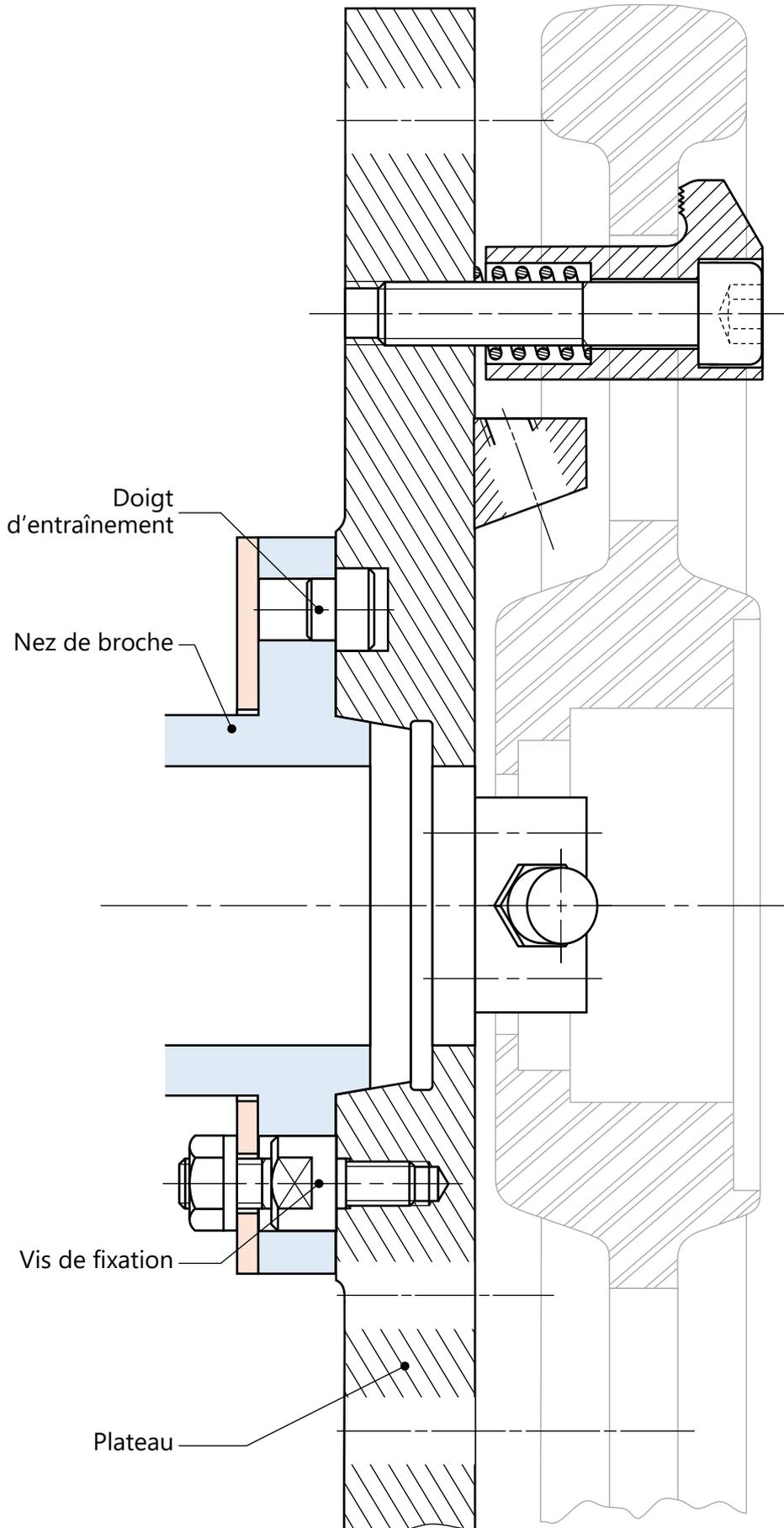
- Les surfaces usinées en trait fort.
- Les symboles de mise et de maintien en position isostatique de 2^{ème} norme (technologiques) sachant qu'on prévoit d'appliquer un serrage sur le brut **B2** à l'aide de trois brides à contact strié.
- Les cotes fabriquées non chiffrées (se limiter aux spécifications dimensionnelles).



d. Cocher le nom de l'outil utilisé pour usiner les surfaces indiquées en ébauche : /1 pt

- Outil à aléser
- Outil à aléser et dresser
- Outil à dresser d'angle

- e. Compléter le montage d'usinage du guide-câble relatif à la phase 10 par les éléments de mise en position isostatique (DRES page 18/18). /4 pts



Tâche 33 : Vérification de la possibilité de fabriquer le premier lot avec les plaquettes disponibles.

Données : Vitesse d'avance $V_f = 51$ mm/min ; Vitesse de coupe $V_c = 100$ m/min .

Coefficients de Taylor : $C_v = 4,78 \times 10^6$, $n = -2,8$; Nombre de pièces du premier lot : 200

- a. Calculer la durée de vie de l'outil T (en min) pour la vitesse de coupe retenue et vérifier que la longueur usinée par une arête de l'outil pendant sa durée de vie est $L_u = 612$ mm. /2 pts

.....

.....

- b. Sachant que la course de l'outil pour usiner une pièce est $L_c = 41,5$ mm, calculer le nombre n_a (entier naturel) de pièces fabriquées par **une arête** de l'outil pendant sa durée de vie et en déduire le nombre n_p de pièces fabriquées par **une plaquette** (2 arêtes). /1,5 pt

.....

.....

- c. Vérifier que 10 plaquettes sont suffisantes pour fabriquer le premier lot de poulies guide-câble. /2 pts

.....

.....

Tâche 34 : Préparation de la fabrication de la poulie guide-câble sur un tour à commande numérique.

- a. Compléter le tableau des coordonnées des points programmés du profil usiné (points de 1 à 6) en mode absolu en se référant au dessin de définition (**DRES** page 17/18) et au croquis des points caractéristiques du parcours d'outil (**DRES** page 18/18) : /2 pts

Repère	1	2	3	4	5	6	7
X (\emptyset)	.....	.....	61,5	.....	63,5	47,5	.....
Z	31,5	.....	.....	.....	-1	.....	31,5

- b. Compléter le programme ISO partiel relatif à la dernière passe de la phase 10 en se référant au tableau des coordonnées des points programmés du profil usiné (ci-dessus), au croquis des points caractéristiques du parcours d'outil et au tableau des codes ISO (**DRES** page 18/18).

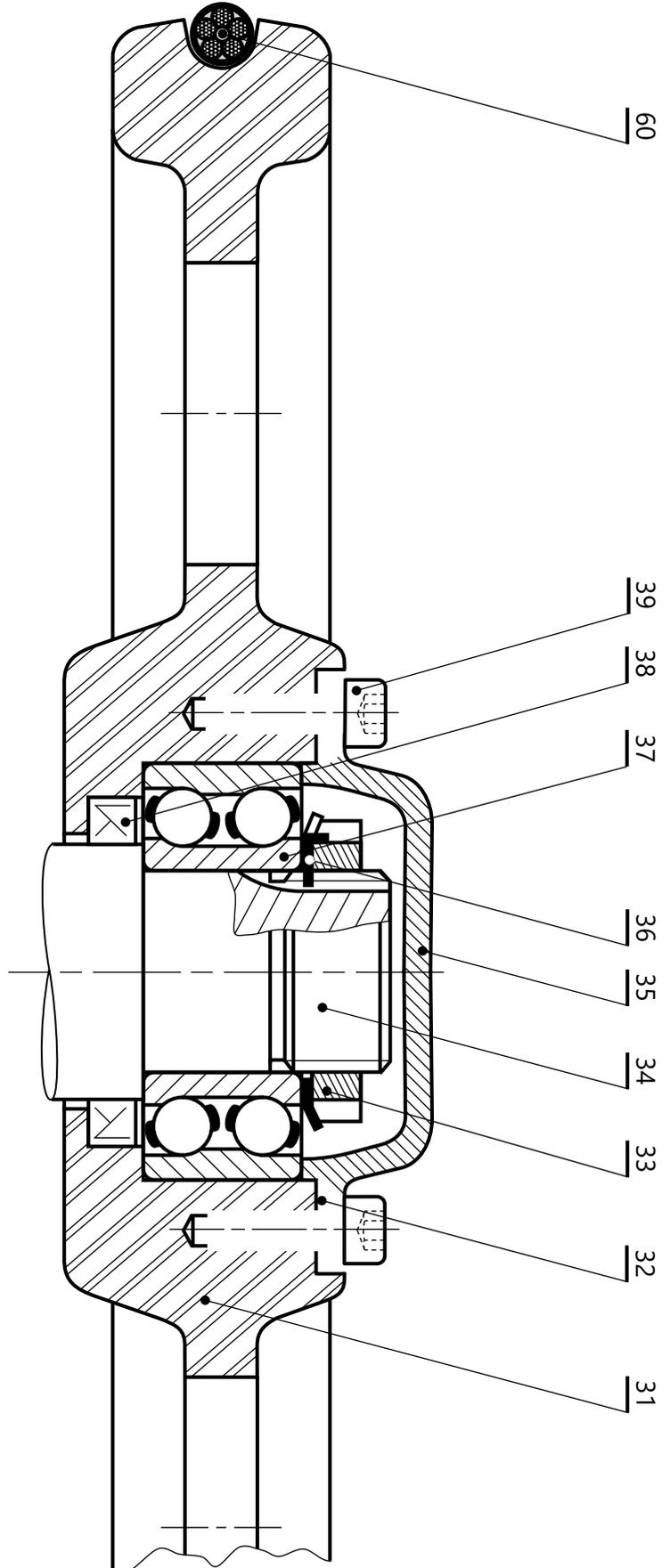
On donne : $V_c = 100$ m/min ; $N = 350$ tr/min ; $f = 0,1$ mm/tr.

/6,5 pts

N10	G40 G00 G90 G80 M05 M09	(1er bloc d'initialisation)
N20	G52 X0 Z0	(2eme bloc d'initialisation)
N30	.....	(Chargement Outil en carbures métalliques N° 2)
N40	..... M03 M42	(Fréquence de rotation sens horaire en tr/min, arrosage)
N50	.....	(Point 1, correction rayon d'outil, Vitesse de coupe m/min)
N60	.....	(Point 2, Vitesse d'avance programmée en mm/tr)
N70	.....	(Point 3)
N80	.....	(Point 4)
N90	.....	(Point 5)
N100	.....	(Retour au point 4)
N110	.....	(Point 6)
N120	.....	(Point 7)
N180	G77	(Appel blocs d'initialisation)
N190	.....	(Fin programme)

Volet 4 : Documents ressources

• Montage de la poulie guide-câble :



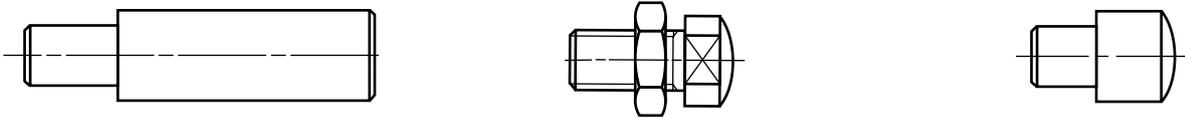
60	1	Câble électrique		
39	6	Vis CHc M6x16	NF EN ISO 4762	
38	1	Joint à deux lèvres		
37	1	Roulement à deux rangées de billes à contact oblique		
36	1	Rondelle frein	Type MB	
35	1	Couvercle		
34	1	Arbre		
33	1	Ecrou à encoches	Type KM	
32	1	Cale de réglage		
31	1	Poulie guide-câble	Al Cu 4 Mg Si	EN AW-2017
Rep	Nb	Designation	Matière	Observation

• Avant-projet d'étude de fabrication :

Série de fabrication : lots de 200 pièces par mois pendant 3 mois

Phase	Désignation	Surfaces usinées	Mise en position isostatique
00	Contrôle de brut		
10	Tournage	D1-F1, D2(½f)-F2, D3(½f)-F3, D4	3N/B1 ; 2N/B3 ; 1N/B4
20	Tournage	G1	3N/F1 ; 2N/D2 ; 1N/B4
30	Perçage – Taraudage	C1, A1	3N/F1 ; 2N/D2 ; 1N/B4
40	Rectification cylindrique	D2(f), D3(f)	3N/F1 ; 2N/D1 ; 1N/B4
50	Contrôle final		

• Éléments de mise en position isostatique :



• Tableau des codes ISO :

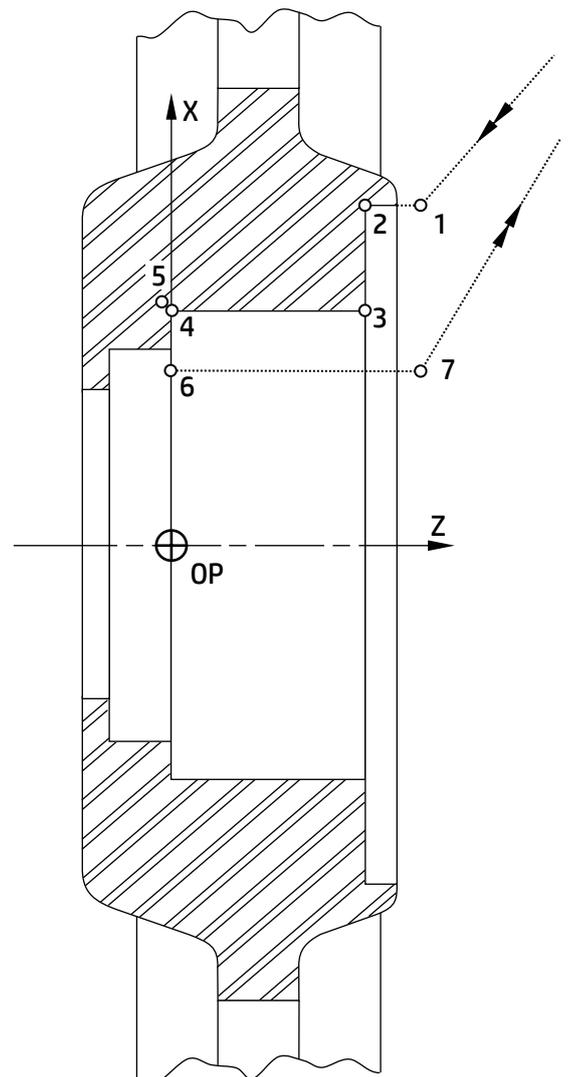
Fonctions préparatoires

- G00 : Interpolation linéaire en avance rapide
- G01 : Interpolation linéaire en avance programmée
- G02 : Interpolation circulaire sens horaire
- G03 : Interpolation circulaire sens trigonométrique
- G04 : Temporisation
- G40 : Annulation de la correction d'outil
- G41 : correction du rayon d'outil à gauche du profil
- G42 : correction du rayon d'outil à droite
- G52 : Programmation absolue (origine mesure)
- G77 : Appel inconditionnel de blocs
- G92 : Limitation de la vitesse de broche
- G95 : Vitesse d'avance en mm/tr
- G96 : Vitesse de coupe avec S en m/min
- G97 : Vitesse de rotation broche en tr/min

Fonctions auxiliaires

- M02 : Fin du programme
- M03 : Rotation de broche sens horaire
- M04 : Rotation de broche sens trigonométrique
- M05 : Arrêt broche
- M06 : Changement d'outil
- M08 : Arrosage N° 1
- M09 : Arrêt d'arrosage
- M42 : Gamme de vitesse de broche

• Croquis des points caractéristiques du parcours d'outil :

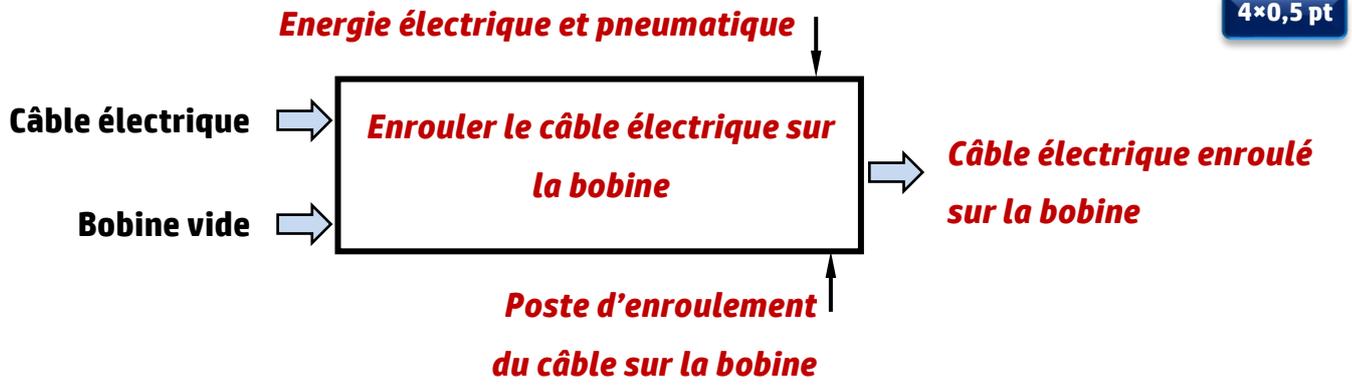


DOCUMENTS REponses (DREP)

Situation d'évaluation n°1 :

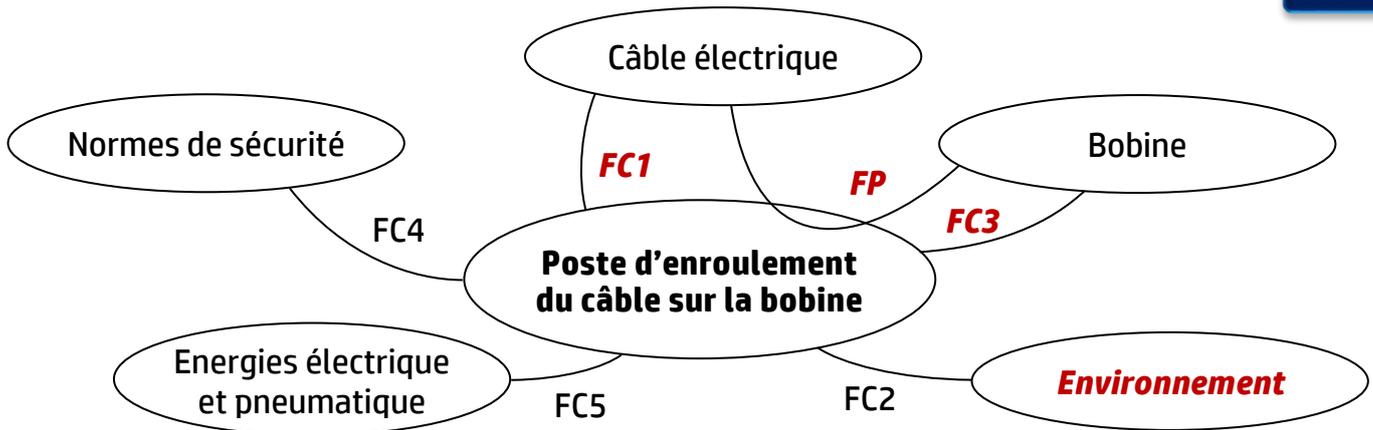
Tâche 11 : Analyse fonctionnelle du poste d'enroulement du câble électrique sur la bobine.

a. Compléter l'actigramme suivant en se référant à la présentation du support (page 2/18) : /2 pts



b. Compléter le diagramme des interactions et la liste des fonctions de services ci-dessous : /3 pts

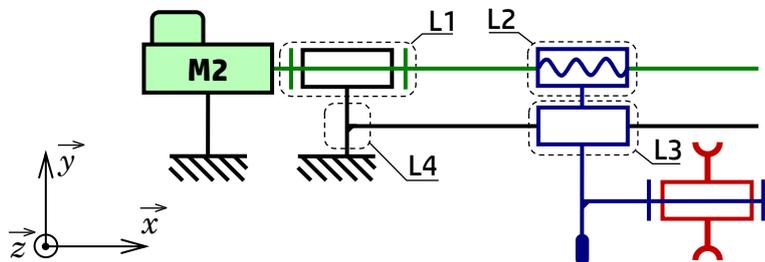
Diagramme des interactions :



Fonctions de service :

- | | |
|--|--|
| <p>FP : Enrouler le câble électrique sur la bobine ;</p> <p>FC1 : S'adapter à la tension et à la vitesse de défilement du câble électrique ;</p> <p>FC2 : Respecter l'environnement ;</p> | <p>FC3 : Assurer le chargement/déchargement de la bobine ;</p> <p>FC4 : Respecter les normes de sécurité.</p> <p>.....</p> <p>FC5 : Etre alimenté en énergie électrique et pneumatique.</p> |
|--|--|

c. Compléter le tableau de la page 7/11 en se référant au schéma cinématique du mécanisme de répartition du câble sur la bobine suivant : /3 pts



Repère de la liaison	Nom de la liaison	Degré(s) de liberté	Cocher les cases convenables						
			Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz	Conjugués
L1	Pivot	1					×		
L2	Hélicoïdale	1	×				×		×
L3	Glissière	1	×						
L4	Encastrement	0							

4×0,25 pt

4×0,25 pt

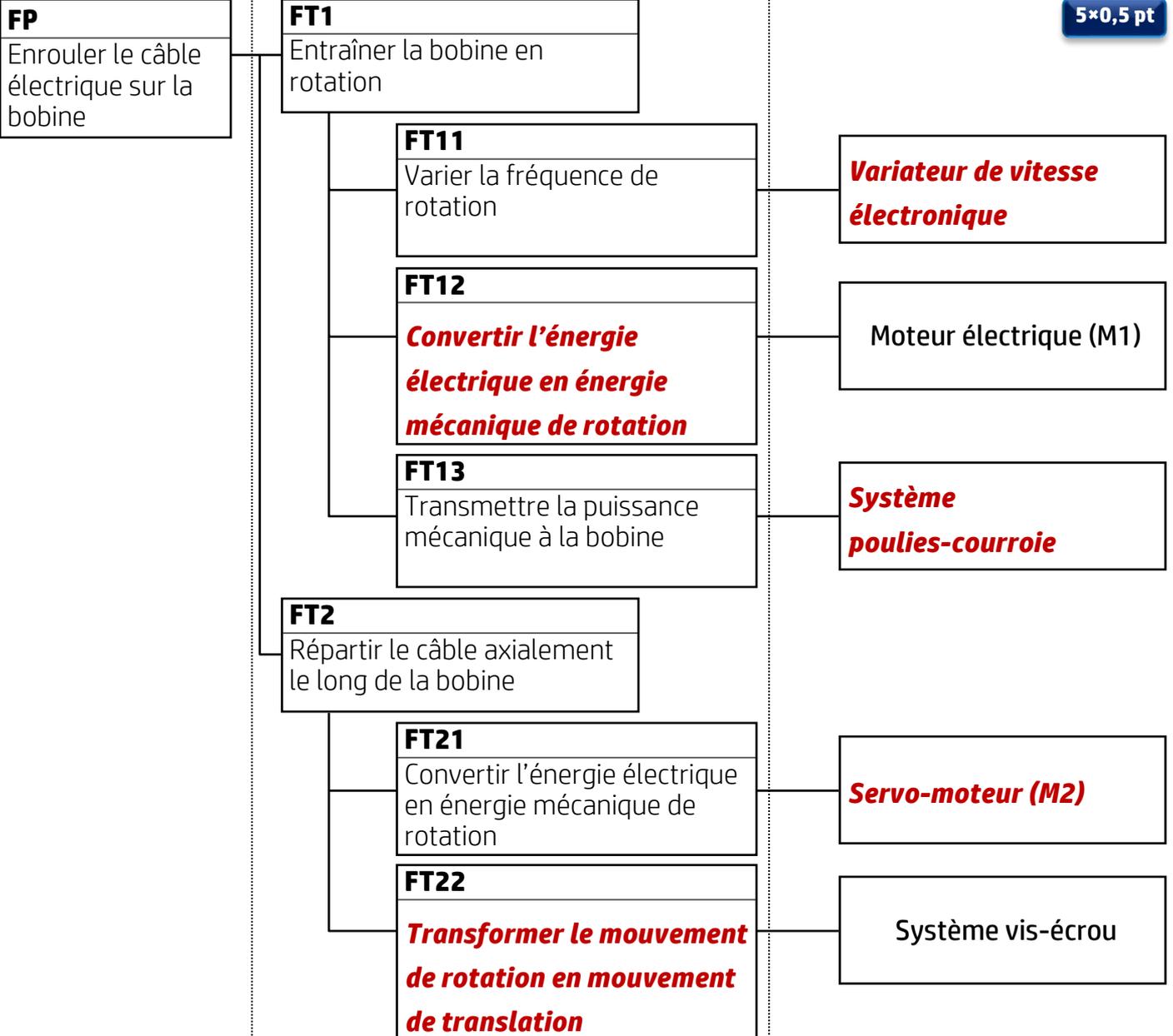
4×0,25 pt

d. Compléter le diagramme FAST relatif à la fonction FP (voir la représentation schématique des trois mécanismes page 3/18) : /2,5 pts

Fonctions de service

Fonctions techniques

Solutions constructives



Tâche 12 : Asservissement de la vitesse de rotation de la bobine.

a. Quel est le rôle du capteur suiveur du diamètre d'enroulement ?

/0,5 pt

Acquérir la valeur du diamètre d'enroulement à chaque instant.

b. Quel est l'élément qui permet de comparer la consigne de vitesse U_c et l'image U_r de la vitesse réelle N_{M1} du moteur asynchrone triphasé $M1$?

/0,5 pt

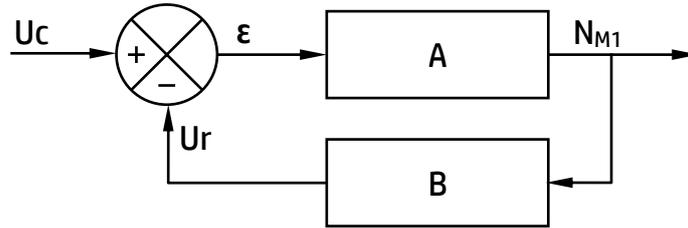
Le comparateur.

c. Exprimer l'écart ε .

/0,5 pt

$$\varepsilon = U_c - U_r$$

d. Pour calculer les fonctions de transfert en boucle ouverte **FTBO** et en boucle fermée **FTBF**, utilisez le schéma de la figure suivante :



d1. Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte **FTBO**.

/0,5 pt

$$\text{FTBO: } H(p) = A \cdot B$$

d2. Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée **FTBF** = D_i/U_c .

/0,5 pt

$$\text{FTBF} = \frac{D_i}{U_c} ; H(p) = \frac{A}{1 + A \cdot B}$$

Tâche 13 : Montage partiel de la poulie guide-câble 31 sur l'arbre 34.

a. Compléter le dessin du trou taraudé et de la vis de fixation CHc M6×16 (tige complètement filetée).

/2 pts

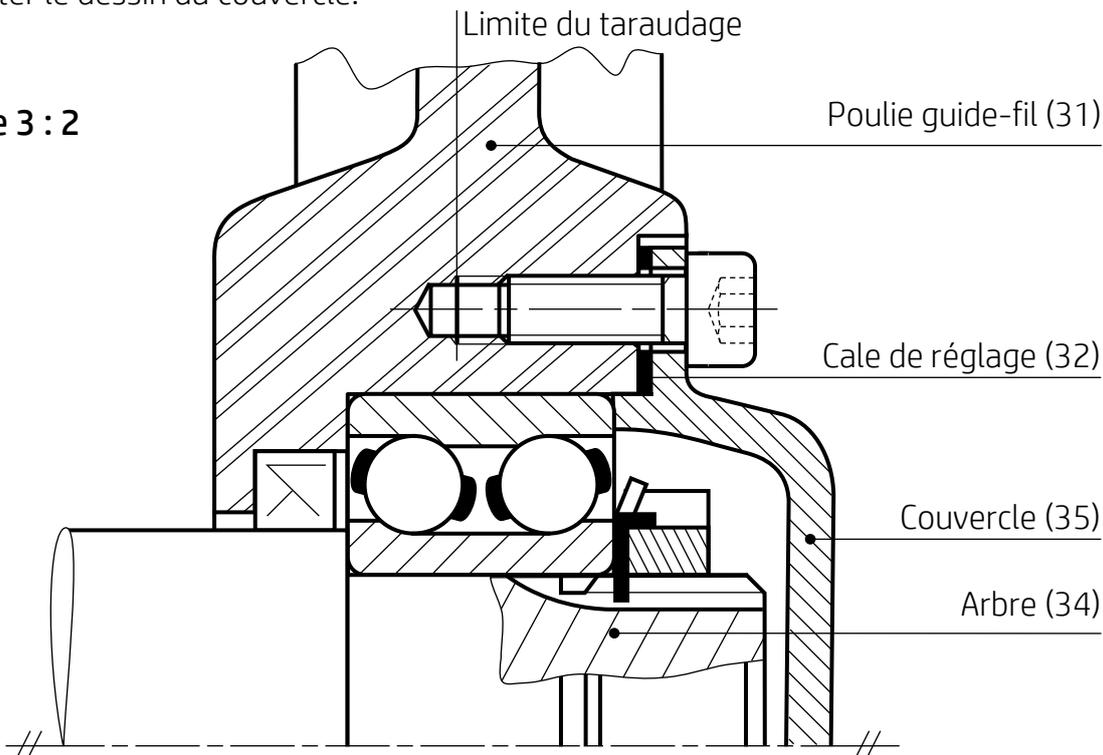
b. Mettre en place la cale de réglage d'une épaisseur d'environ 1.

/0,5 pt

c. Compléter le dessin du couvercle.

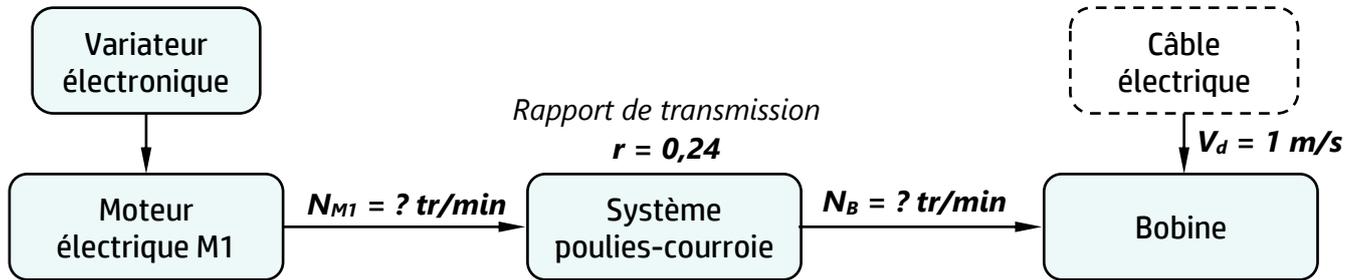
/1 pt

Echelle 3 : 2



Situation d'évaluation n°2 :

Tâche 21 : Comportement cinématique du mécanisme d'entraînement de la bobine.



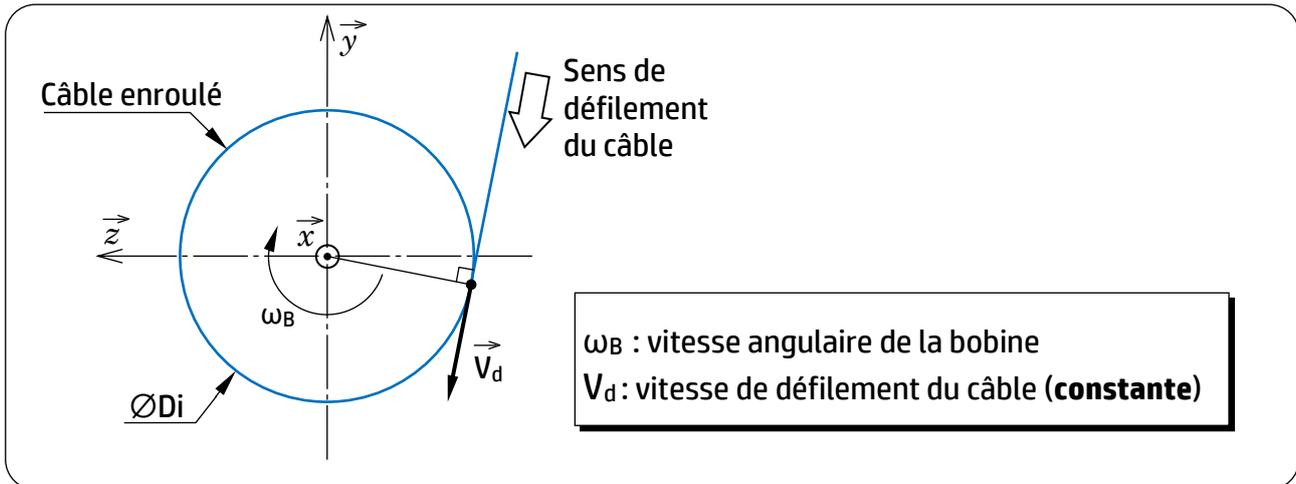
- a. Calculer, d'après la modélisation ci-dessous, la vitesse angulaire ω_B (rad/s) de la bobine à un instant donné et en déduire sa fréquence de rotation N_B (tr/min).

On donne : Diamètre instantané d'enroulement $D_i = 397,88$ mm.

/1,5 pt

$$V_d = \omega_B \cdot \frac{D_i}{2} \Rightarrow \omega_B = \frac{2 \cdot V_d}{D_i} ; \text{A.N.: } \omega_B = \frac{2 \times 1 \times 10^3}{397,88} = 5,026 \text{ rd/s} \quad \text{Formule 0,5 pt ; A.N. 0,25 pt}$$

$$\omega_B = \frac{\pi \cdot N_B}{30} \Rightarrow N_B = \frac{30 \cdot \omega_B}{\pi} ; \text{A.N.: } N_B = \frac{30 \times 5,026}{3,14} = 48 \text{ tr/min} \quad \text{Formule 0,5 pt ; A.N. 0,25 pt}$$



- b. Déterminer la fréquence de rotation N_{M1} (tr/min) du moteur **M1** :

Formule 1 pt ; A.N. 0,5 pt

/1 pt

$$r = \frac{N_B}{N_{M1}} \Rightarrow N_{M1} = \frac{N_B}{r} ; \text{A.N.: } N_{M1} = \frac{48}{0,24} = 200 \text{ tr/min}$$

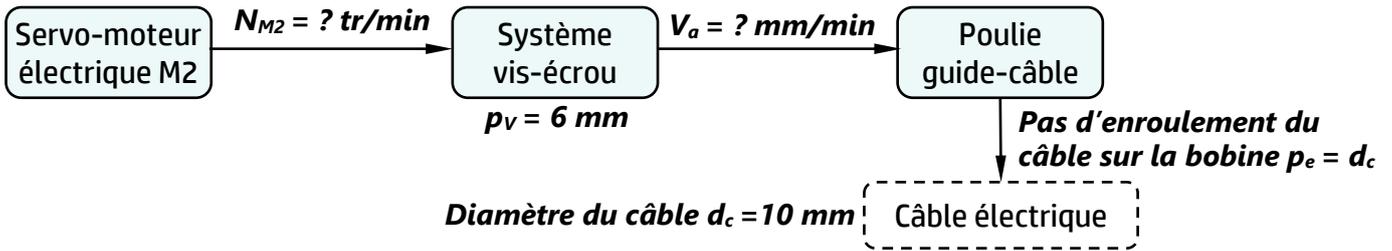
- c. Conclure à propos de la variation de la fréquence de rotation N_{M1} du moteur **M1** lorsque le diamètre d'enroulement D_i augmente (de D_0 à D_f) au fur et à mesure que le câble s'enroule sur la bobine (DRES page 15/18) sachant qu'on peut exprimer la fréquence de rotation comme suit :

$$N_{M1} = \frac{k}{D_i} \quad \text{avec } k \text{ constante.}$$

/1 pt

k est une constante, lorsque D_i augmente N_{M1} diminue.

Tâche 22 : Comportement cinématique du mécanisme de répartition du câble sur la bobine.



- a. Montrer que la vitesse de déplacement axial alternatif de la poulie guide-câble le long de la bobine est $V_a = 480 \text{ mm/min}$ sachant que cette poulie se déplace d'un pas p_e pour un tour de la bobine. Prendre $N_B = 48 \text{ tr/min}$. /1,5 pt

$$V_a = p_e \cdot N_B ; \text{A.N.: } V_a = 10 \times 48 = 480 \text{ mm/min}$$

- b. Calculer la fréquence de rotation N_{M2} (tr/min) du Servo-moteur M2. Rappelons que $p_v = 6 \text{ mm}$. /1,5 pt

$$V_a = p_v \cdot N_{M2} \Rightarrow N_{M2} = \frac{V_a}{p_v} ; \text{A.N.: } N_{M2} = \frac{480}{6} = 80 \text{ tr/min}$$

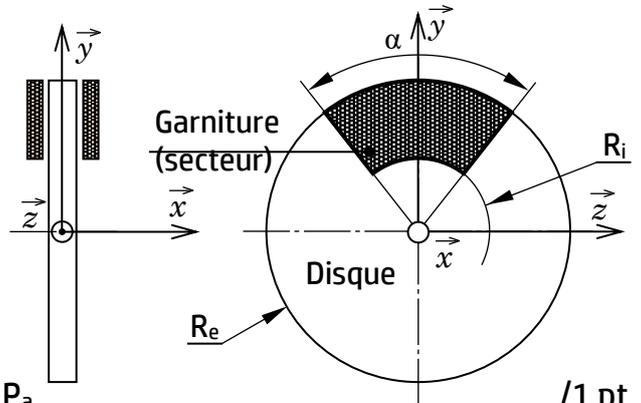
- c. Montrer que la relation entre la fréquence de rotation N_{M2} du moteur M2 et la fréquence de rotation N_{M1} du moteur M1 (calculée en question b page 8/18) est $N_{M2} = r \frac{p_e}{p_v} N_{M1}$ /2 pts

$$V_a = p_v \cdot N_{M2} = p_e \cdot N_B \Rightarrow N_{M2} = \frac{p_e}{p_v} N_B \quad (1) \quad \text{or } r = \frac{N_B}{N_{M1}} \Rightarrow N_B = r \cdot N_{M1} \quad (2)$$

$$(1) \text{ et } (2) \Rightarrow N_{M2} = r \frac{p_e}{p_v} N_{M1}$$

Tâche 23 : Validation du couple de freinage.

Données vérin	Pression d'alimentation du vérin
	$P_a = 5 \text{ bar} = 0,5 \text{ N/mm}^2$
Diamètre du piston $d_p = 90 \text{ mm}$	
Données freinage	Nombre de contacts $n = 2$
	Coefficient de frottement $f = 0,45$
	Rayon extérieur $R_e = 125 \text{ mm}$
	Rayon intérieur $R_i = 75 \text{ mm}$



- a. Calculer l'effort presseur F_p engendré par la pression P_a . /1 pt

$$F_p = P_a \cdot \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} ; \text{A.N.: } F_p = 0,5 \times \frac{\pi \cdot 90^2}{4} = 3180,86 \text{ N}$$

- b. Pour simplifier le calcul du couple de freinage, on procède en deux étapes :

- b1. Calculer le couple de freinage C_f (N·m) pour une couronne de garniture (cas où $\alpha = 360^\circ$). /1,5 pt

$$(1) C_f = n \cdot f \cdot F_p \cdot \frac{R_e + R_i}{2} ; \text{A.N.: } C_f = 2 \times 0,45 \times 3180,86 \times \frac{125 + 75}{2} \times 10^{-3} = 286,27 \text{ N} \cdot \text{m}$$

OU BIEN

$$(2) C_f = \frac{2}{3} \cdot n \cdot f \cdot F_p \cdot \frac{R_e^3 - R_i^3}{R_e^2 - R_i^2} \Rightarrow C_f = \frac{2}{3} \cdot 2 \times 0,45 \times 3180,86 \times \frac{1531250}{10000} \times 10^{-3} = 292,24 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- b2. Calculer le couple de freinage C_{fs} (N·m) pour un secteur (cas étudié, figure ci-dessus) d'angle au sommet $\alpha = 60^\circ$ sachant que $C_{fs} = C_f \frac{\alpha}{360}$. /1 pt

$$C_{fs} = C_f \frac{\alpha}{360} ; \text{A.N.: } (1) C_{fs} = 47,7 \text{ N} \cdot \text{m} \quad \text{OU BIEN} \quad (2) C_{fs} = 48,7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

c. Comparer C_{fs} avec les exigences du cahier des charges fonctionnel et conclure. /1 pt

C_{fs} est compris entre 40 N·m et 50 N·m donc il est conforme aux exigences du CdCF.

Tâche 24 : Comportement mécanique du support de la bobine (voir modélisation ci-dessous).

a. Déterminer la réaction R_C au point C : /1,5 pt

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{R}_C + \vec{B} + \vec{A} = \vec{0}; \text{Proj}/Oy: R_C - B - A = 0 \Rightarrow R_C = B + A$$

$$\text{A.N.: } R_C = 1000 + 1000 = 2000 \text{ N}$$

b. Déterminer le moment d'encastrement \mathcal{M}_C au point C : /1,5 pt

$$\sum \vec{M}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{M}_{/C}R_C + \vec{M}_{/C}B + \vec{M}_{/C}A + \vec{M}_C = \vec{0}; \text{Proj}/Oz: b \cdot B + (a + b) \cdot A + \mathcal{M}_C = 0$$

$$\mathcal{M}_C = -b \cdot (-B) - (a + b) \cdot (-A); \text{A.N.: } \mathcal{M}_C = 0,2 \times 1000 + 0,7 \times 1000 = 900 \text{ N} \cdot \text{m}$$

c. Ecrire les expressions de l'effort tranchant T_y le long de la poutre AC : /1,5 pt

Pour la suite des calculs, prendre : $R_C = 2000 \text{ N}$ et $\mathcal{M}_C = 900 \text{ N} \cdot \text{m}$

Zone AB : $T_y = -(-A) = A$ A.N. : T_y (AB) = **1000 N**

Zone BC : $T_y = -(-A - B) = A + B$ A.N. : T_y (BC) = **2000 N**

d. Exprimer et calculer le moment fléchissant \mathcal{M}_{fz} le long de la poutre AC : /1,75 pt

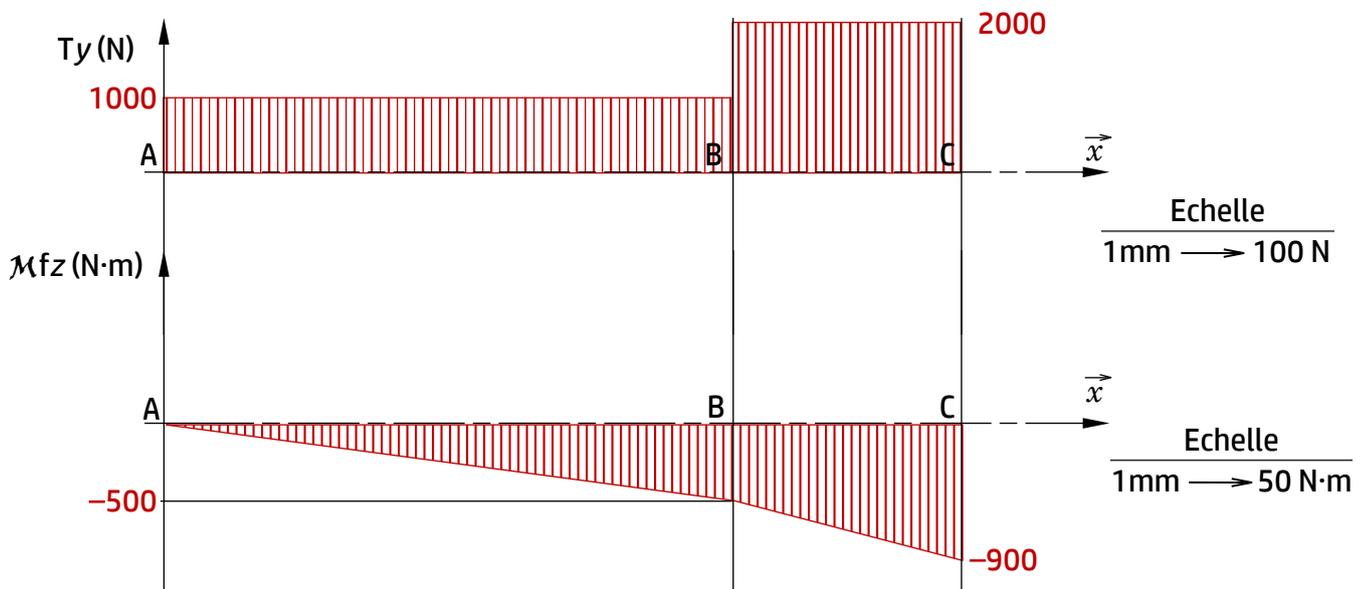
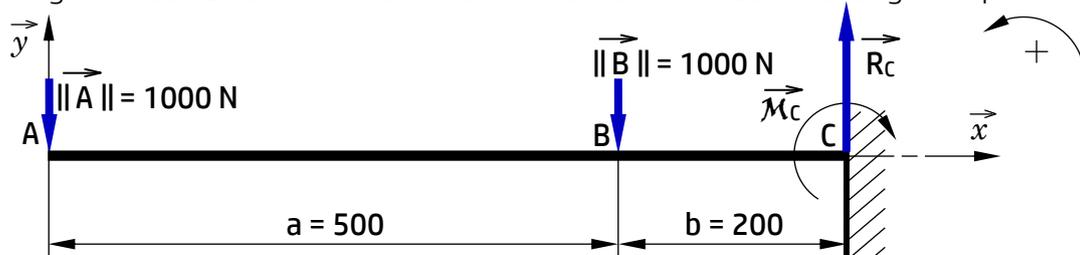
Zone AB : $\mathcal{M}_{fz} = -(A \cdot x) = -1000 \cdot x$ A.N. : \mathcal{M}_{fz} (A) = **0 N**

A.N. : \mathcal{M}_{fz} (B) = **-500 N·m**

Zone BC : $\mathcal{M}_{fz} = -(A \cdot x + B \cdot (x - a))$ A.N. : \mathcal{M}_{fz} (B) = **-500 N·m**

$$= -(A + B) \cdot x + a \cdot B = -2000 \cdot x + 500 \quad \text{A.N. : } \mathcal{M}_{fz} \text{ (C)} = \mathbf{-900 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

e. Tracer les diagrammes de l'effort tranchant et du moment fléchissant le long de la poutre AC. /2 pts



f. Déduire la section dangereuse (la plus sollicitée) de la poutre. /0,5 pt

La section dangereuse se situe au point C.

g. Vérifier la condition de résistance et conclure. /1,25 pt

On donne : Résistance à la limite d'élasticité $R_e = 275 \text{ N/mm}^2$;

Coefficient de sécurité $s = 3$;

Module de flexion $I_{Gz}/v = 10,5 \times 10^3 \text{ mm}^3$.

$$\sigma_{max} = \frac{Mfz}{\frac{I_{Gz}}{v}} \leq \frac{Re}{s} ; A. N. : \frac{900 \times 10^3}{10,5 \times 10^3} \leq \frac{275}{3} \Rightarrow 85,71 \leq 91,66$$

La condition de résistance est satisfaite

Situation d'évaluation n°3 :

Tâche 31 : Lecture du dessin de définition et interprétation des spécifications incluses.

a. Expliquer la désignation du matériau de la poulie guide-câble (Al Cu 4 Mg Si). /1,5 pt

0,5 pt

0,5 pt

0,25 pt

0,25 pt

Alliage d'aluminium contenant 4% de cuivre et des traces de magnésium et de silicium.

b. Compléter le tableau suivant en :

/3 pts

– indiquant le nom du procédé d'obtention du brut de la poulie guide-câble ;

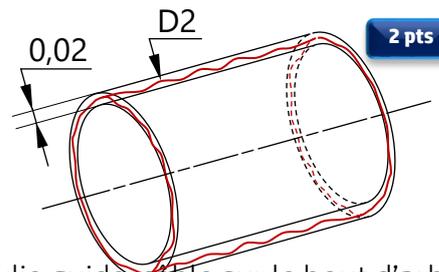
– cochant les caractéristiques convenables de la **matière d'œuvre entrante**.

4x0,75 pt

Nom du procédé	Caractéristiques de la matière d'œuvre entrante		
	Etat	Forme	Technique de mise en forme
Matriçage	<input checked="" type="checkbox"/> Solide	<input type="checkbox"/> Fluide	<input type="checkbox"/> Compactage
	<input type="checkbox"/> Liquide	<input type="checkbox"/> Flan	<input checked="" type="checkbox"/> Formage
	<input type="checkbox"/> Poudre	<input checked="" type="checkbox"/> Lopin	<input type="checkbox"/> Fusion

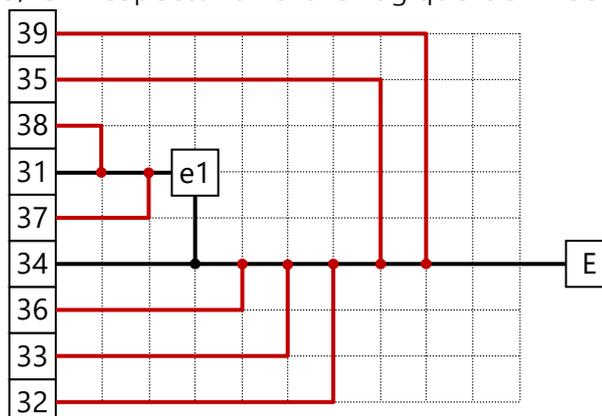
c. Interpréter la spécification géométrique $D2 \text{ } \mathcal{O} \text{ } 0,02$ et faire un schéma explicatif. /4 pts

Il s'agit d'une spécification de cylindricité : Le cylindre D2 doit être compris entre deux cylindres coaxiaux dont les rayons diffèrent d'une valeur de 0,02 mm.



2 pts

d. Compléter le graphe de montage visant la mise en place de la poulie guide-câble sur le bout d'arbre 34 (voir DRES page 16/18) en respectant l'ordre logique de mise en place des composants. /3,5 pts



7*0,5 pt

Tâche 32 : Validation du choix de la machine et étude de la mise et le maintien en position isostatique.

L'ébauche de la phase 10 se fera selon les conditions suivantes : $V_c = 100 \text{ m/min}$; $a = 2 \text{ mm}$; $f = 0,1 \text{ mm/tr}$. En se référant au dessin de définition de la poulie guide-câble et à l'avant-projet d'étude de fabrication (DRES pages 17/18 et 18/18), répondre aux questions suivantes :

a. Calculer l'effort de coupe F_c (N) et en déduire la puissance de coupe correspondante P_c (kW). /2 pts

$$F_c = K_c \cdot a \cdot f \quad ; \quad \text{A.N. } F_c = 1800 \times 2 \times 0,1 = 360 \text{ N} \quad \text{Formule 0,5 pt ; A.N. 0,5 pt}$$

$$P_c = \frac{F_c \cdot V_c}{60} \quad ; \quad \text{A.N. } P_c = \frac{360 \times 100 \times 10^{-3}}{60} = 0,6 \text{ kW} \quad \text{Formule 0,5 pt ; A.N. 0,5 pt}$$

b. Comparer la puissance de coupe avec la puissance $P_{c_{\max}}$ fournie par le moteur de la machine et conclure s'il est capable d'effectuer cet usinage. On donne :

Puissance du moteur de la machine $P_M = 3 \text{ kW}$; Rendement de la machine $\eta = 0,82$. /1,5 pt

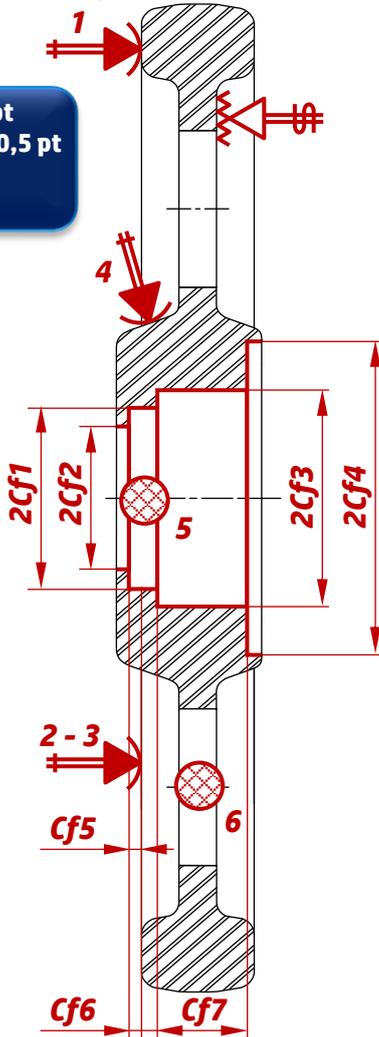
$$\eta = \frac{P_{c_{\max}}}{P_M} \Rightarrow P_{c_{\max}} = \eta \cdot P_M \quad ; \quad \text{A.N. } P_{c_{\max}} = 0,82 \times 3 = 2,46 \text{ kW} > 0,6 \text{ kW}$$

Le moteur de la machine est capable d'effectuer cet usinage.

c. Placer sur le croquis de la phase 10 de la poulie guide-câble (ci-dessous) : /6 pts

- Les surfaces usinées en trait fort. 0,5 pt
- Les symboles de mise et de maintien en position isostatique de 2^{ème} norme (technologiques) sachant qu'on prévoit d'appliquer un serrage sur le brut B2 à l'aide de trois brides à contact strié. 7*0,5 pt
- Les cotes fabriquées non chiffrées (se limiter aux spécifications dimensionnelles).

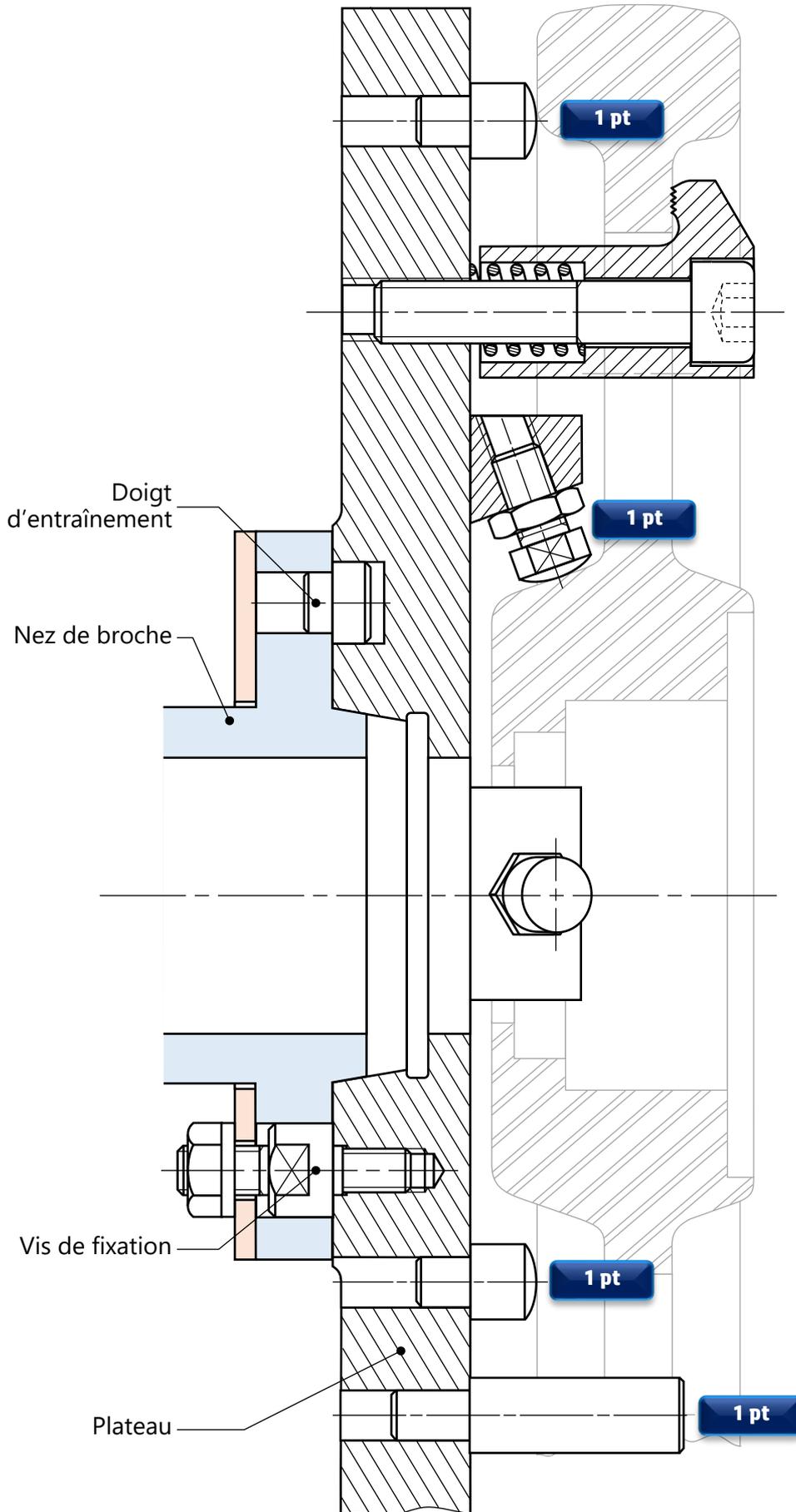
Appui plan : 0,5 pt
Centrage court : 0,5 pt
Butée : 0,5 pt
Serrage : 0,5 pt



d. Cocher le nom de l'outil utilisé pour usiner les surfaces indiquées en ébauche : /1 pt

- Outil à aléser
 Outil à aléser et dresser
 Outil à dresser d'angle

- e. Compléter le montage d'usinage du guide-câble relatif à la phase 10 par les éléments de mise en position isostatique (DRES page 18/18). /4 pts



Tâche 33 : Vérification de la possibilité de fabriquer le premier lot avec les plaquettes disponibles.

Données : Vitesse d'avance $V_f = 51$ mm/min ; Vitesse de coupe $V_c = 100$ m/min .

Coefficients de Taylor : $C_v = 4,78 \times 10^6$, $n = -2,8$; Nombre de pièces du premier lot : 200

- a. Calculer la durée de vie de l'outil T (en min) pour la vitesse de coupe retenue et vérifier que la longueur usinée par une arête de l'outil pendant sa durée de vie est $L_u = 616,8$ mm. /2 pts

$$T = C_v \cdot V_c^n ; \text{ A.N. } T = 4,78 \times 10^6 \times 100^{-2,8} = 12 \text{ min} \quad \text{Formule 0,5 pt ; A.N. 0,5 pt}$$

$$V_f = \frac{L_u}{T} \Rightarrow L_u = V_f \cdot T ; \text{ A.N. } L_u = 51 \times 12 = 612 \text{ mm} \quad \text{Formule 0,5 pt ; A.N. 0,5 pt}$$

- b. Sachant que la course de l'outil pour usiner une pièce est $L_c = 41,5$ mm, calculer le nombre n_a (entier naturel) de pièces fabriquées par une arête de l'outil pendant sa durée de vie et en déduire le nombre de plaquettes (2 arêtes). /1,5 pt

$$n_a = \frac{L_u}{L_c} ; \text{ A.N. } n_a = \frac{612}{41,5} = 14 \text{ pièces} \Rightarrow n_p = 2 \times n_a = 2 \times 14 = 28 \text{ pièces}$$

- c. Vérifier que 10 plaquettes sont suffisantes pour fabriquer le premier lot de poulies guide-câble. /2 pts

10 plaquettes permettent d'usiner $10 \times 14 \times 2 = 280$ pièces > 200 pièces donc elles sont suffisantes pour fabriquer le premier lot.

Tâche 34 : Préparation de la fabrication de la poulie guide-câble sur un tour à commande numérique.

- a. Compléter le tableau des coordonnées des points programmés du profil usiné (points 1 à 6) en mode absolu en se référant au dessin de définition (DRES page 17/18) et au croquis des points caractéristiques du parcours d'outil (DRES page 18/18) : $8 \times 0,25$ pt /2 pts

Repère	1	2	3	4	5	6	7
X (\emptyset)	90	90	61,5	61,5	63,5	47,5	47,5
Z	31,5	25,5	25,5	0	-1	0	31,5

- b. Compléter le programme ISO partiel relatif à la dernière passe de la phase 10 en se référant au tableau des coordonnées des points programmés du profil usiné (ci-dessus), au croquis des points caractéristiques du parcours d'outil et au tableau des codes ISO (DRES page 18/18).

On donne : $V_c = 100$ m/min ; $N = 350$ tr/min ; $f = 0,1$ mm/tr.

$26 \times 0,25$ pt /6,5 pts

N10 G40 G00 G90 G80 M05 M09 (1er bloc d'initialisation)

N20 G52 X0 Z0 (2eme bloc d'initialisation)

N30 **M06... T02... D02...** (Chargement Outil en carbures métalliques N° 2)

N40 **G97... S350 M08...** M03 M42 (Fréquence de rotation sens horaire en tr/min, arrosage)

N50 **G41... G96... S100. X90... Z31,5** (Point 1, correction rayon d'outil, Vitesse de coupe m/min)

N60 **G01... G95... F0,1... Z25,5** (Point 2, Vitesse d'avance programmée en mm/tr)

N70 **X61,5** (Point 3)

N80 **Z0**..... (Point 4)

N90 **X63,5 Z-1**..... (Point 5)

N100 **X61,5 Z0**..... (Retour au point 4)

N110 **X47,5** (Point 6)

N120 **Z31,5** (Point 7)

N180 G77 **N10... N20...** (Appel blocs d'initialisation)

N190 **M02**... (Fin programme)