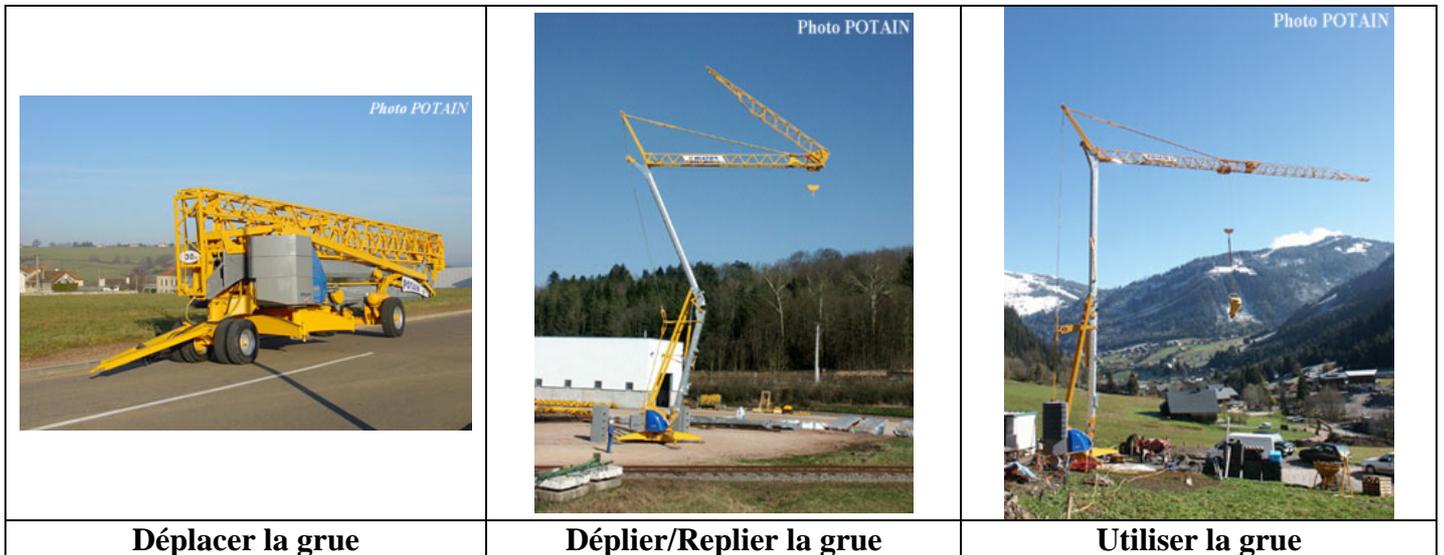


# Présentation

## Introduction

Conçue pour la construction de maisons individuelles, de bâtiments industriels, de logements collectifs jusqu'à trois ou quatre étages et de petits ponts, la Grue à Montage Automatisée (GMA) est un produit très prisé par les petites entreprises de bâtiment et de travaux publics. Elle se monte sur le chantier de façon autonome en une trentaine de minutes grâce, notamment, à sa technologie hydraulique.



L'étude qui suit porte sur le modèle IGO 15 de la société Potain.

## Diagramme des inter-acteurs

Fonction principales

**FP1** : Déplacer la grue.

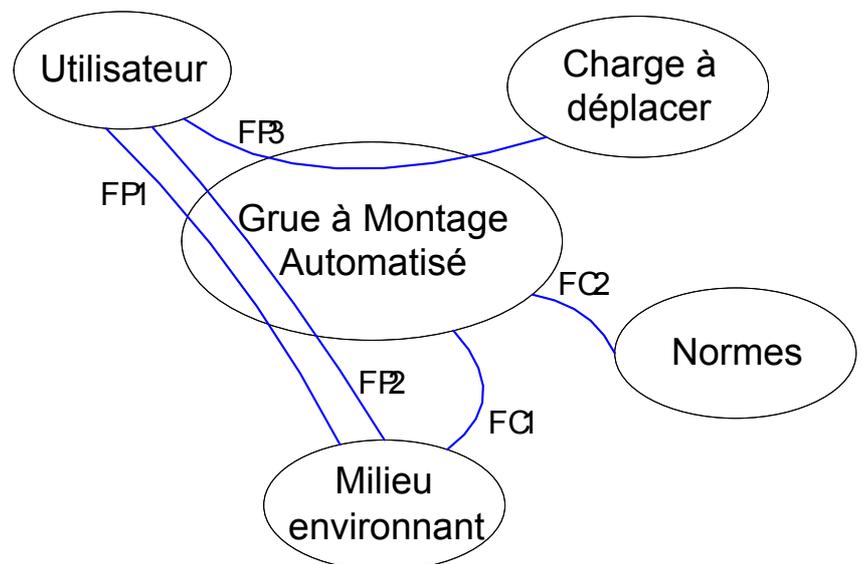
**FP2** : Installer/Désinstaller la grue.

**FP3** : Déplacer une charge.

Fonctions contraintes

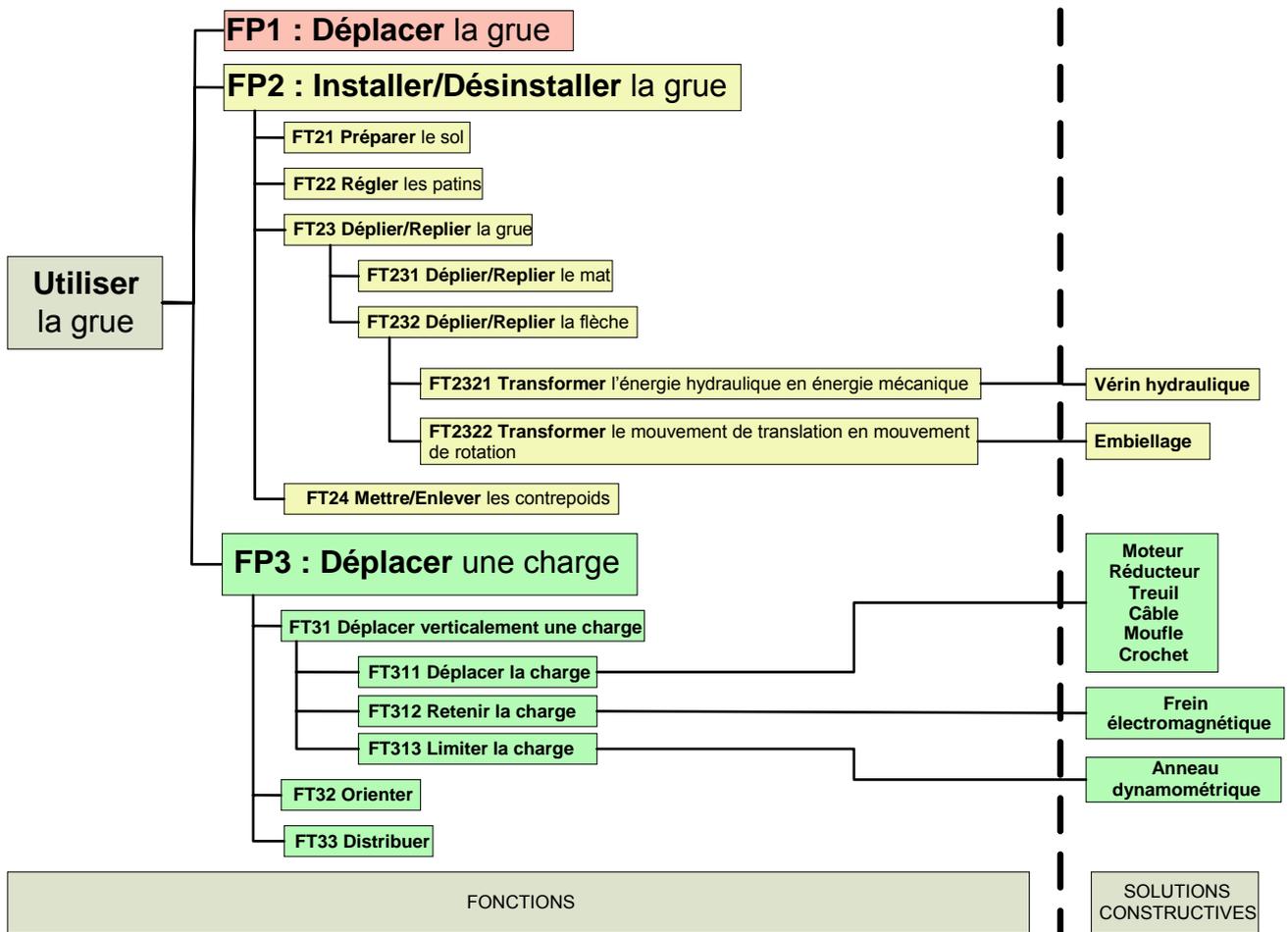
**FC1** : Résister au milieu environnant.

**FC2** : Respecter les normes.

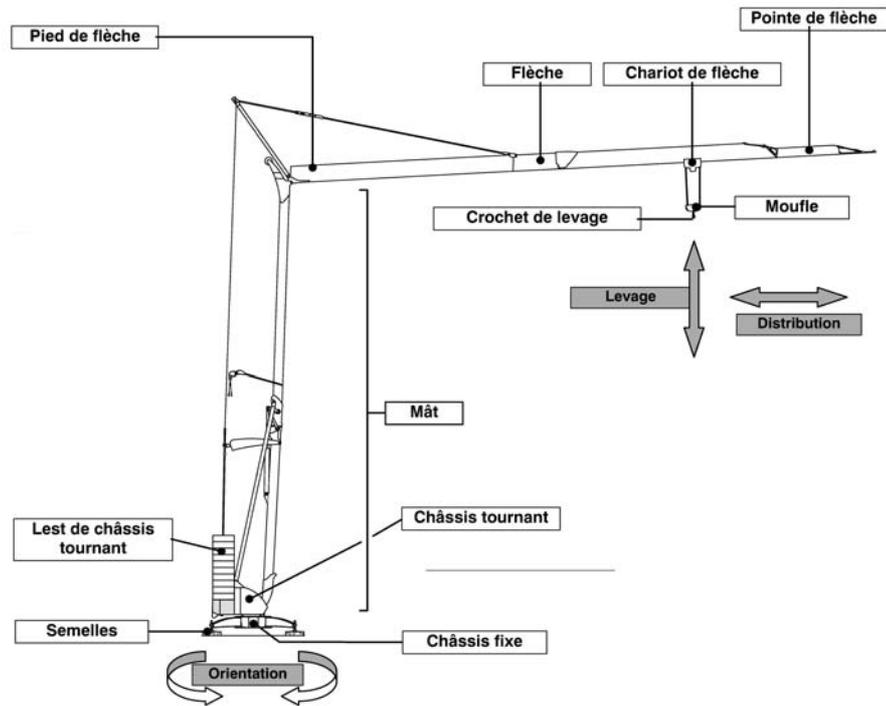


# F.A.S.T. partiel de la grue

Ne sont développées que les solutions étudiées dans la suite.



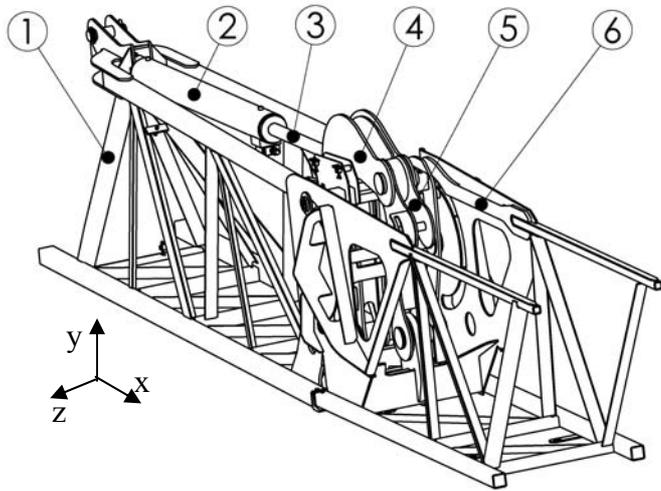
## Vocabulaire



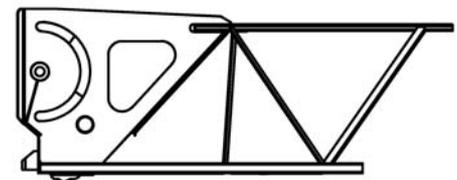
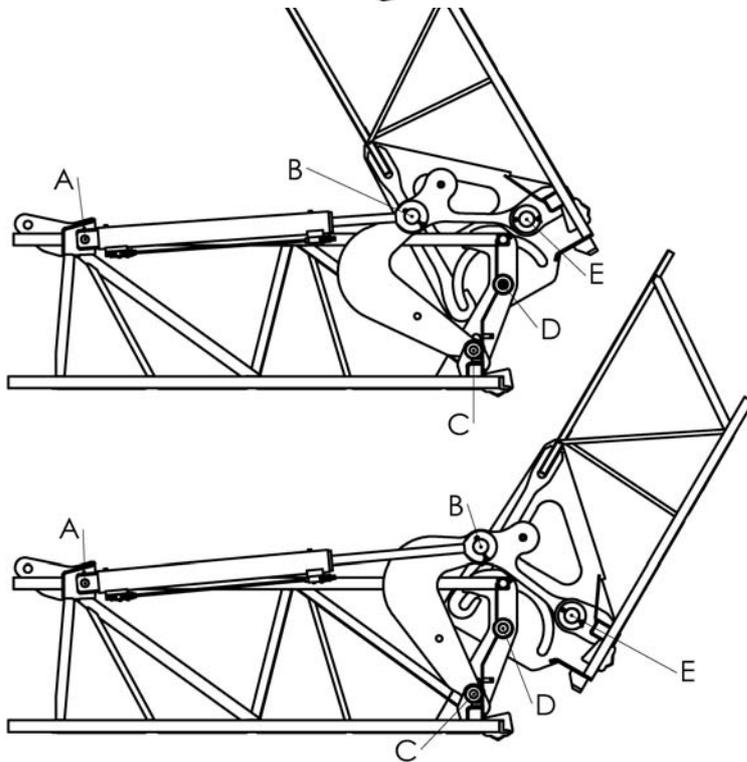
# Partie A-Cinématique du système de dépliage de la flèche

L'objectif de l'étude qui suit est de déterminer la course du vérin nécessaire au pliage/dépliage de la flèche de la grue.

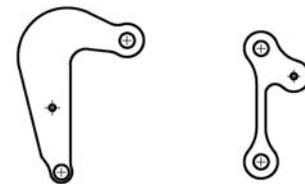
La fonction technique FT232 est réalisée grâce à un vérin hydraulique et un embiellage présenté ci-dessous :



Repère	Désignation de l'ensemble de pièces
1	Pied de flèche
2	Corps de vérin
3	Tige de vérin
4	Levier coudé
5	Bielle
6	Pointe de flèche



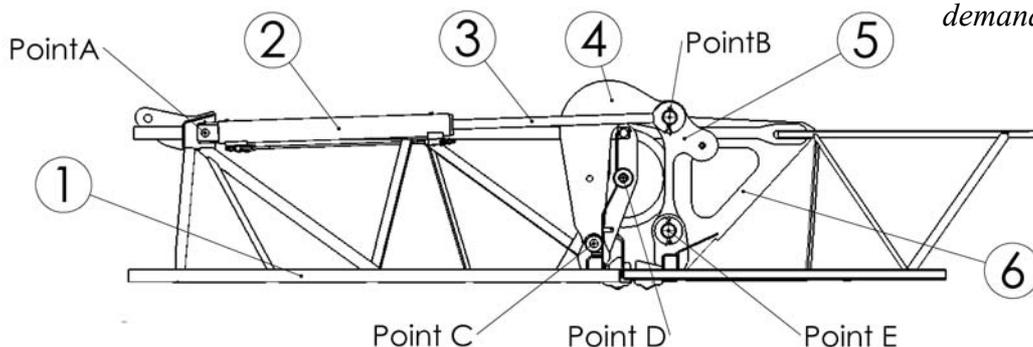
Forme de 6



Forme de 4      Forme de 5

Ci contre le mécanisme de pliage est représenté dans le plan (x,y) dans trois positions différentes.

Les centres de liaisons y sont définis de manière à pouvoir exprimer clairement les caractéristiques des liaisons lorsque cela vous est demandé.



## Modélisation du mécanisme

Pour alléger la notation, toutes les pièces en liaison encastrement seront désignées par le repère de la pièce principale du bloc cinématique (exemple : « 1 » désignera toutes les pièces encastrees sur le pied de flèche 1)

Répondre sur document réponse **DR1**.

*Le mécanisme est actionné par un vérin hydraulique.*

**Question A-1** : Quelle est la nature de la liaison  $L_{2-3}$  entre le corps et la tige de vérin ?

### Liaison 1-6

**Question A-2** : En observant le mécanisme dans les trois positions, déterminer la mobilité existante entre 1 et 6 et en déduire la liaison  $L_{1-6}$

### Liaison 1-4

**Question A-3** : Compléter les deux classes d'équivalence cinématique à l'aide des dessins présentés sur **DR2**.

**Question A-4** : Sur ces mêmes dessins, colorier ( d'une même couleur sur les deux pièces) les surfaces de contact entre 1 et 4.

**Question A-5** : Donner la nature géométrique de ces surfaces ainsi que les degrés de liberté qu'elles suppriment entre 1 et 4 (Barrer les degrés de liberté supprimes).

**Question A-6** : En déduire la liaison entre 1 et 4.

**Question A-7** : Compléter le schéma cinématique proposé en y dessinant les liaisons  $L_{2-3}$ ,  $L_{1-6}$ .et  $L_{1-4}$ .

## Etude du mouvement

*Hypothèses : Le mouvement s'effectue dans le plan (x,y).*

*Les solides sont indéformables.*

*Données : L'amplitude du mouvement de la pointe de flèche par rapport au pied de flèche est de **180°**.*

Répondre sur document réponse **DR3**

**Question A-8** : Définir le mouvement de la pointe de flèche 6 par rapport au pied de flèche 1, puis tracer la trajectoire du point E,  $T_{E \in 6/1}$

**Question A-9**: Positionner sur cette trajectoire la position finale du point E repérée  $E_{\text{final}}$

**Question A-10**: Que peut-on dire des distances BC et BE au cours du mouvement et grâce à quelle hypothèse peut-on le dire ?

**Question A-11**: En déduire la position finale du point B repérée  $B_{\text{final}}$  .

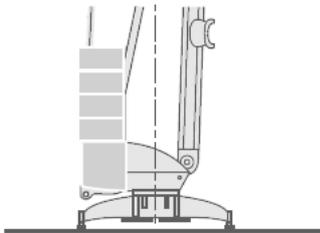
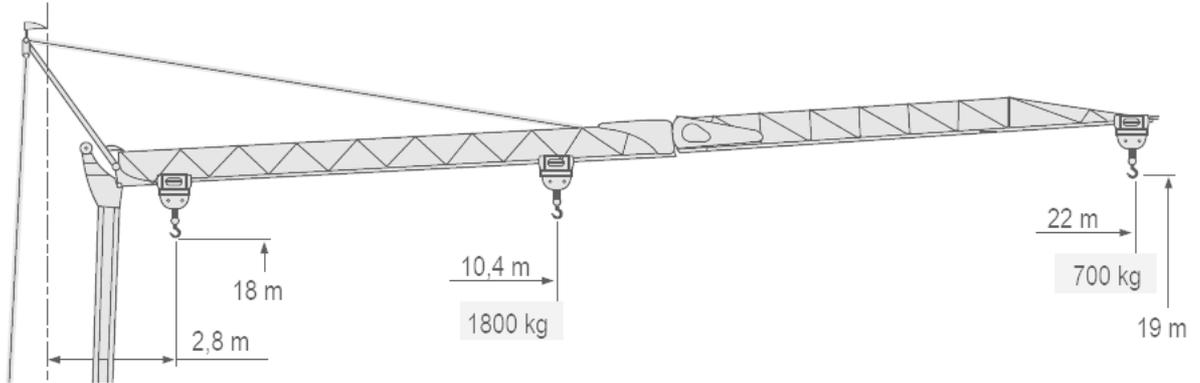
**Question A-12**: Porter sur le **DR3** les cotes AB et  $AB_{\text{final}}$  afin d'en déduire la course du vérin (attention à l'échelle du dessin).

# Partie B : Étude de la stabilité de la grue

Dans cette partie nous déterminerons le lest nécessaire à l'utilisation de la grue.

## Présentation :

Pour éviter le basculement de la grue vers l'avant, le constructeur prévoit l'utilisation de lests en béton placés proches des pieds arrière, et limite la charge en fonction de sa position sur la flèche.

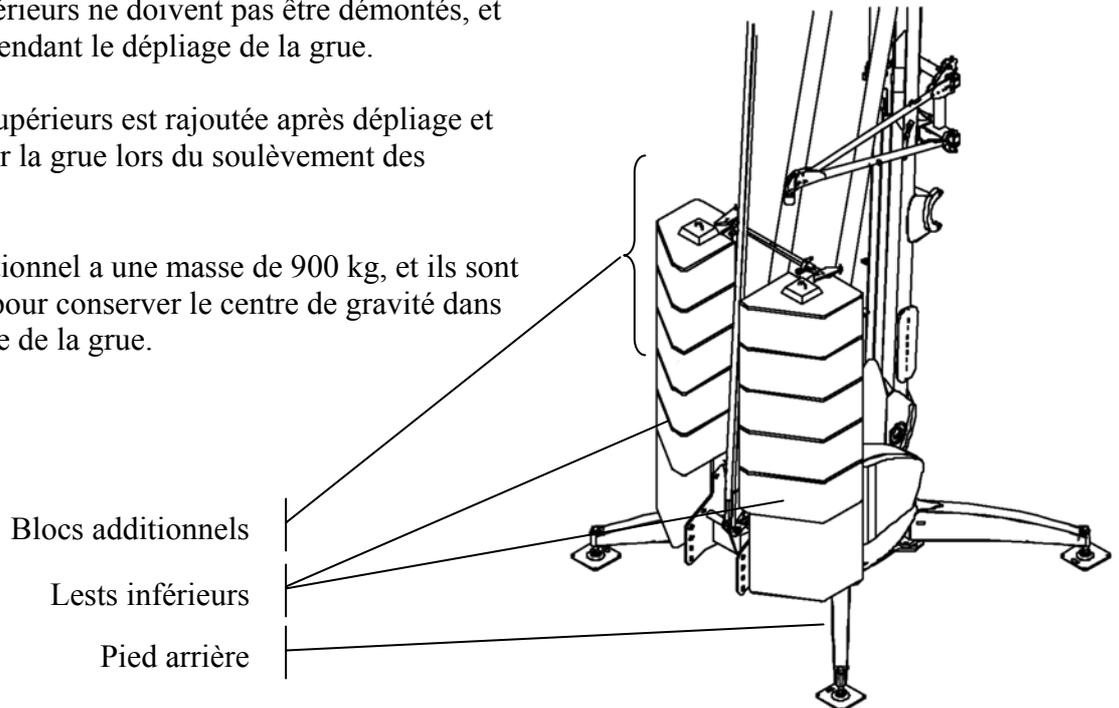


kg	1 800	1 678	1 503	1 359	1 238	1 136	1 047	971	903	844	791	743	700
m	10,4	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

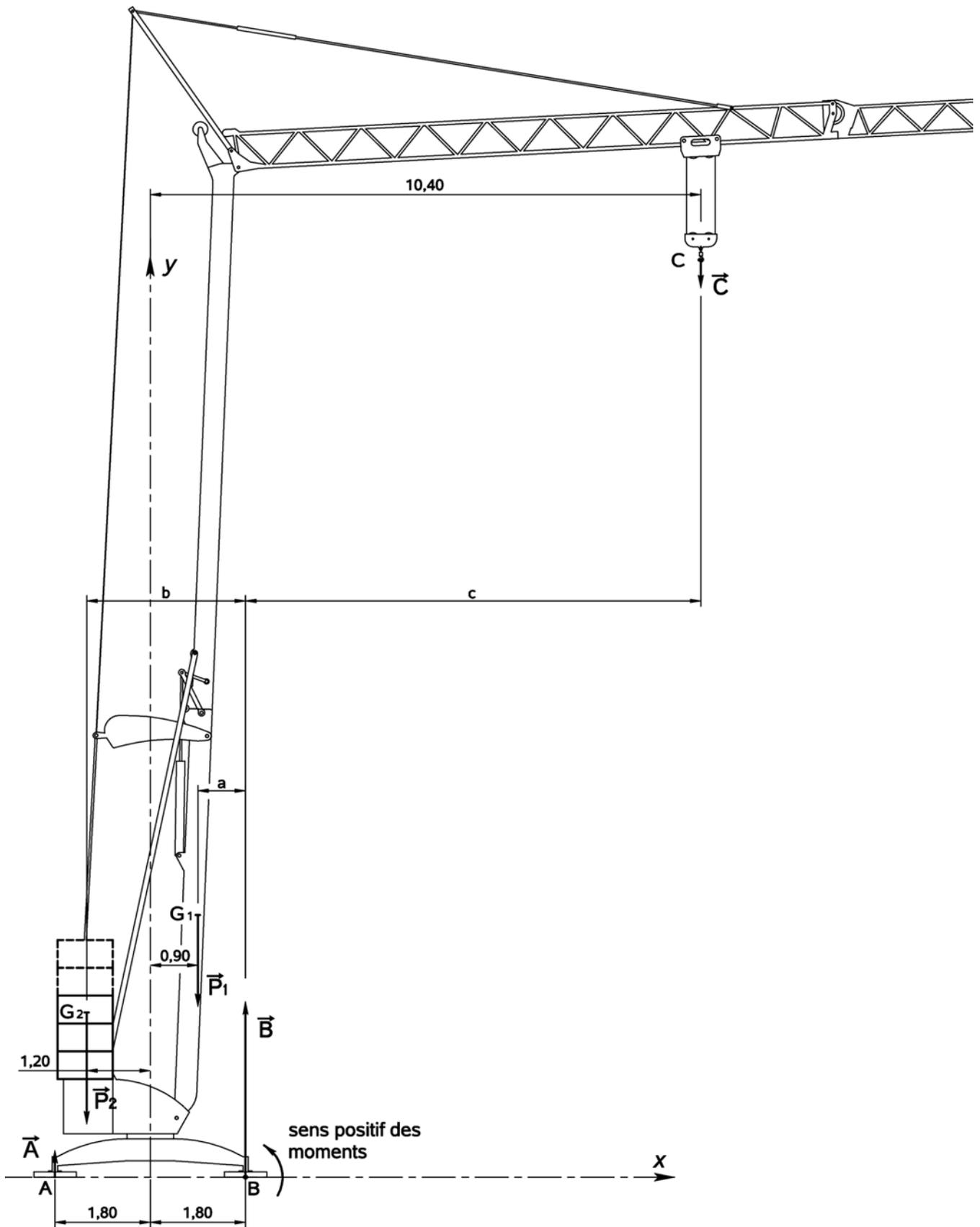
Les deux lests inférieurs ne doivent pas être démontés, et sont nécessaires pendant le dépliage de la grue.

La série de lests supérieurs est rajoutée après dépliage et permet d'équilibrer la grue lors du soulèvement des charges.

Chaque bloc additionnel a une masse de 900 kg, et ils sont montés par paire pour conserver le centre de gravité dans le plan de symétrie de la grue.



L'étude est faite dans le plan de symétrie de la grue, dans le cas de la charge maximum (1 800 kg), placée à la distance maximale autorisée (10,4 m).  
 On applique le principe fondamental de la statique à la grue lestée.



L'action de la pesanteur est modélisée par :

- le vecteur  $\vec{P}_1$ , poids de la grue équipée de ses lests inférieurs, s'appliquant en  $G_1$ .  
 $\|\vec{P}_1\| = 93\,200 \text{ N}$ .
- le vecteur  $\vec{P}_2$ , poids des lests additionnels s'appliquant en  $G_2$ . Ce poids est à calculer.
- On prendra  $g = 10 \text{ m/s}^2$

L'action du sol sur la grue est modélisée par :

- le vecteur  $\vec{A}$ , action sur les pieds arrières.
- le vecteur  $\vec{B}$ , action sur les pieds avants.

L'action de la charge sur le crochet est modélisée par la force  $\vec{C}$ . Pour tenir compte de l'action du vent (cas le plus défavorable) on appliquera un coefficient de sécurité. On prendra donc  $\|\vec{C}\| = 32\,400 \text{ N}$ .

On considère que la grue est à la limite du basculement, et donc que les pieds arrières à la limite du soulèvement ne reçoivent aucun effort :  $\|\vec{A}\| = 0$ .

On obtient le poids minimum des lests en écrivant que dans cette situation la grue reste en équilibre, plus précisément que la somme des moments en B est nulle.

*Répondre sur feuille de copie*

**Question B-1 :** Les cotes **a**, **b**, et **c** représentent les "bras de levier" des forces par rapport au point B, calculer ces distances.

**Question B-2 :** Écrire l'équation des moments autour de l'axe (B,z) et sa projection sur l'axe z.

**Question B-3 :** En déduire l'expression littérale de  $\|\vec{P}_2\|$  et calculer sa valeur.

**Question B-4 :** Déterminer le nombre de blocs de lests qu'il faut installer avant d'utiliser la grue.

**Question B-5 :** Quel terme de l'équation des moments change lorsque la charge est placée à l'extrémité de la flèche ? Pourquoi faut-il diminuer la charge soulevée ?

## Partie C : Fonction Levage

On se propose de valider la chaîne cinématique et les caractéristiques du moteur, dans la situation où la grue supporte la charge maximum : 1 800 kg.

### Principe de fonctionnement :

La charge est soulevée par le crochet du moufle, suspendu au câble.

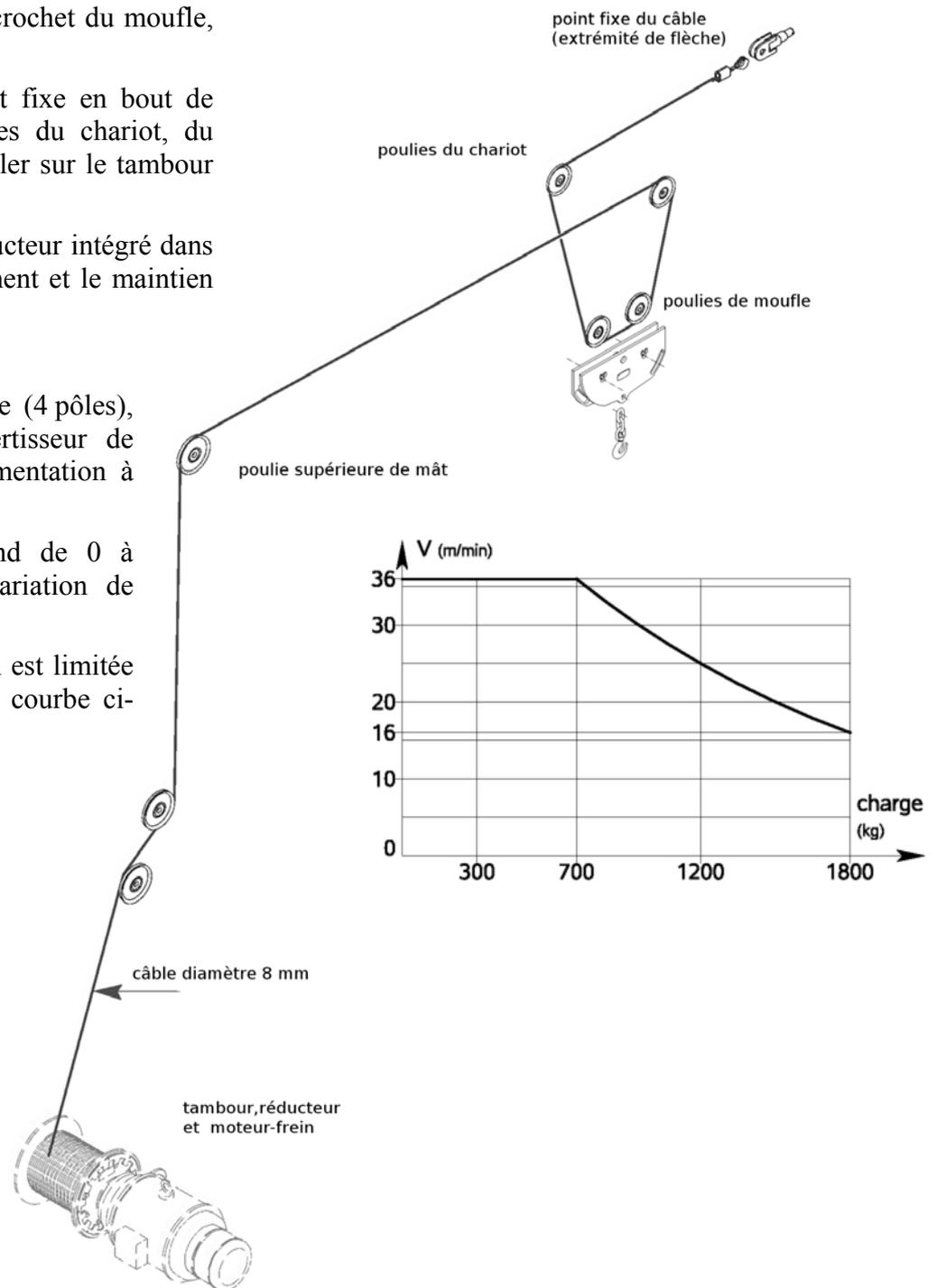
Le câble qui possède un point fixe en bout de flèche, circule dans les poulies du chariot, du moufle et du mât, pour s'enrouler sur le tambour du treuil de levage.

Un moteur-frein suivi d'un réducteur intégré dans le tambour assurent l'entraînement et le maintien de la charge.

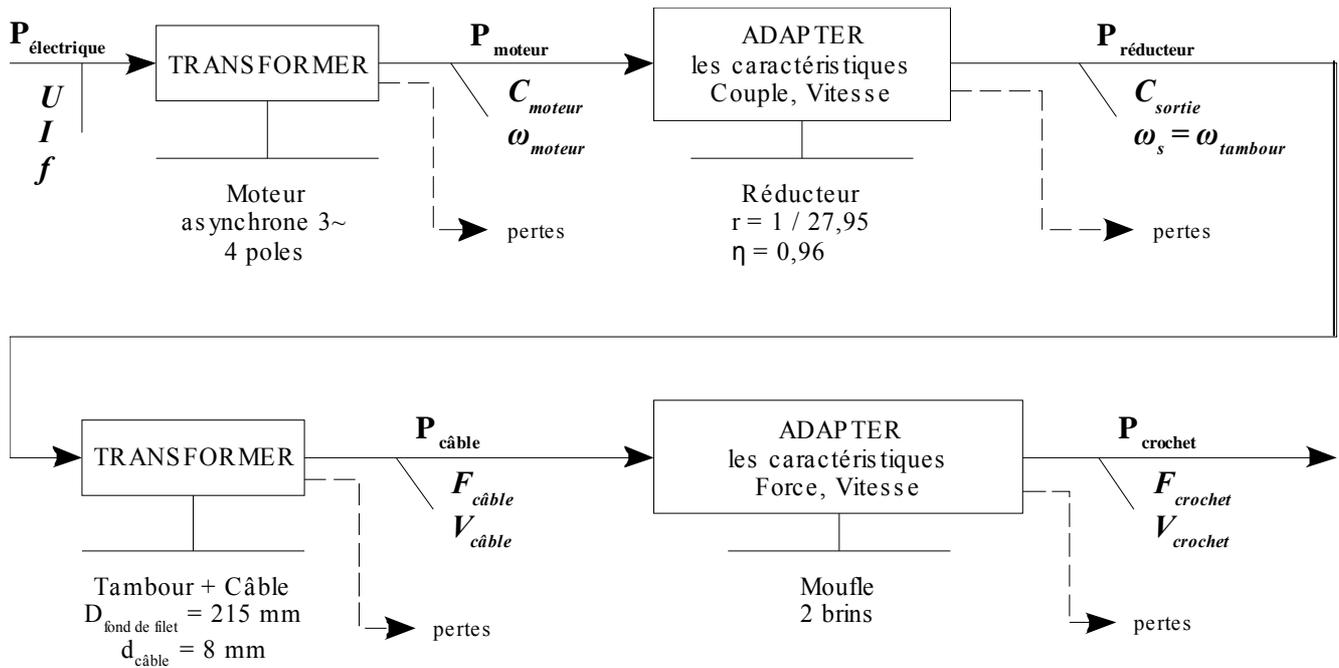
Le moteur, de type asynchrone (4 pôles), est commandé par un convertisseur de fréquence qui délivre une alimentation à tension et fréquence variable.

La plage de fréquence s'étend de 0 à 92 Hz, ce qui permet une variation de vitesse de 0 à 2760 tr/min.

Cependant la vitesse maximum est limitée par la charge à déplacer (voir courbe ci-contre).



## Grphe de transmission de puissance :

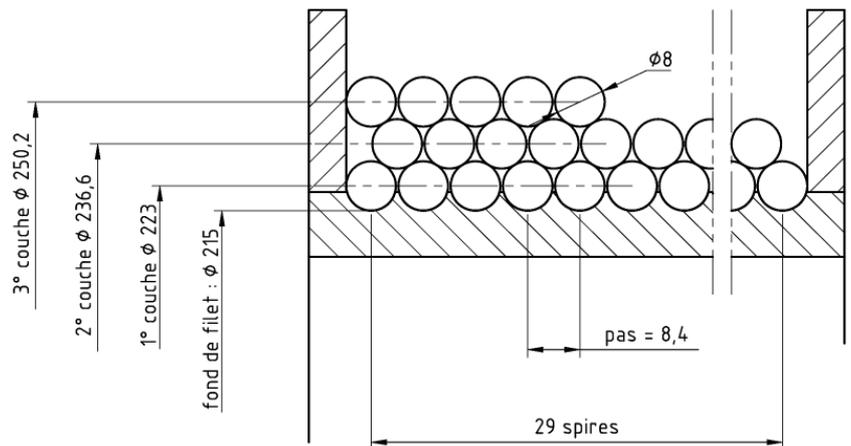


## Vitesse du crochet :

Répondre sur feuille de copie

**Question C-1 :** A partir des caractéristiques du moteur ( données page précédente) et du réducteur ( voir graphe de transmission ci-dessus), calculer la fréquence de rotation  $N_t$  (tr/min) du tambour dans le cas de la charge maximum, ainsi que sa vitesse de rotation  $\omega_t$  (rad/s).

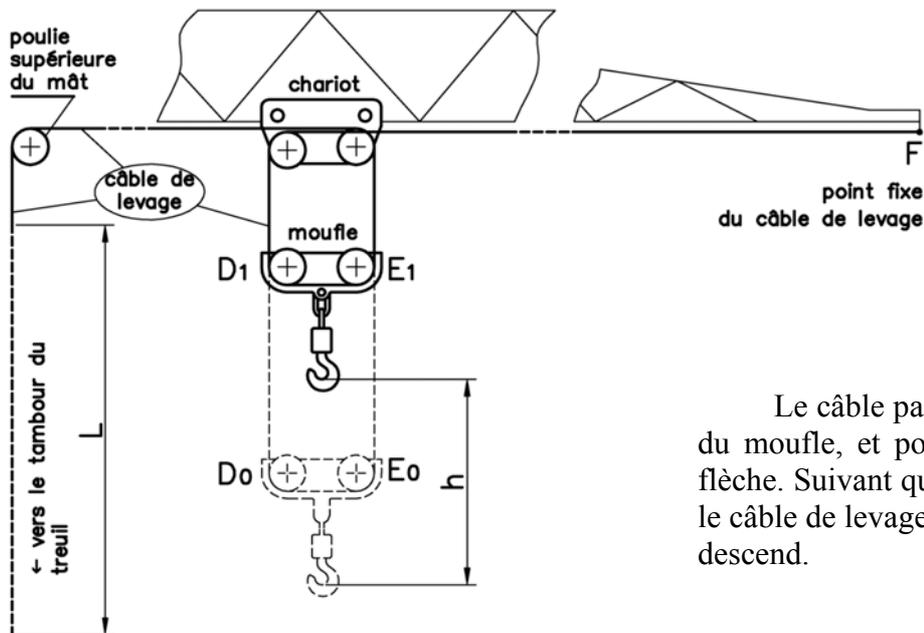
Le tambour du treuil permet d'enrouler trois couches de câble.  
Le diamètre moyen d'enroulement du câble dépend de la couche à laquelle il appartient :



**Question C-2 :** Exprimer la vitesse  $V_{\text{câble}}$  en fonction de  $R_{\text{moyen}}$ , rayon moyen d'enroulement du câble sur le tambour.

**Question C-3 :** Pour quelle couche la vitesse du câble est-elle la plus grande ?

**Question C-4 :** Calculer la vitesse moyenne du câble c'est-à-dire lorsqu'il s'enroule sur la deuxième couche.



Le câble passe dans les poulies du chariot et du moufle, et possède un point fixe en bout de flèche. Suivant que le tambour enroule ou déroule le câble de levage, le crochet du moufle, monte ou descend.

**Question C-5 :** Quelle longueur de câble  $L$  doit s'enrouler sur le tambour pour faire monter le crochet d'une hauteur  $h$  ? En déduire la relation entre les vitesses  $V_{\text{câble}}$  et  $V_{\text{crochet}}$  ?

**Question C-6 :** Calculer la vitesse atteinte par le crochet lorsque le câble s'enroule sur la deuxième couche et vérifier qu'elle correspond à la vitesse annoncée par le constructeur.

**Couple moteur dans le cas de la charge maximum.**

La masse maximum de la charge que le treuil peut soulever avec le crochet est  $M = 1\,800\text{ kg}$ . On souhaite vérifier que le couple nominal du moteur est suffisant pour soulever cette charge.

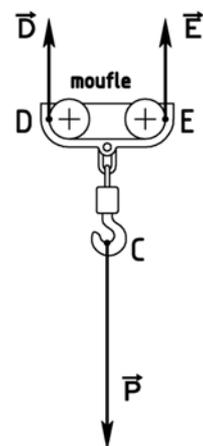
**1. Effort dans le câble :**

Hypothèses :

- L'action mécanique exercé par les deux brins de câble sur le moufle est modélisée par deux forces égales  $\vec{D}$  et  $\vec{E}$ .
- L'action mécanique de la charge sur le crochet est modélisée par la force  $\vec{P}$  en C ( avec  $g = 10\text{ m/s}^2$ ).
- Pendant une montée à vitesse constante, et si on néglige le poids propre du moufle devant celui de la charge, le P.F.D. appliqué au moufle s'écrit pour l'équation des forces :

$$\vec{P} + \vec{D} + \vec{E} = \vec{0}$$

**Question C-7 :** Calculer  $\|\vec{D}\|$  en Newton lorsque la masse  $M$  est suspendue au crochet.



## 2. Moment exercé par le câble sur le tambour :

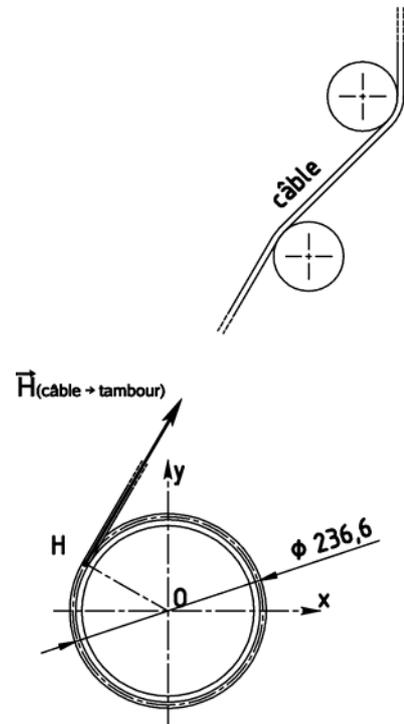
L'action du câble sur le tambour est modélisée par la force  $\vec{H}(\text{câble} \rightarrow \text{tambour})$  au point H. Si on néglige les frottements dans les poulies, on a :

$$\|\vec{H}(c \rightarrow t)\| = \|\vec{D}\|.$$

On appelle  $N(c \rightarrow t)$  le moment autour de l'axe (O,z) exercé par le câble sur le tambour :

$$\vec{M}_O(\vec{H}) = \begin{matrix} L(c \rightarrow t) \\ M(c \rightarrow t) \\ N(c \rightarrow t) \end{matrix}_{(x,y,z)}$$

**Question C-8 :** Calculer  $N(c \rightarrow t)$  (N.m), lorsque le câble s'enroule sur la couche de diamètre  $D = 236,6$  mm.



## 3. Couple de sortie du réducteur :

En plus de l'action du câble, le tambour est soumis à l'action :

- du bâti par une liaison pivot d'axe (O,z) supposée sans frottement
- du réducteur, modélisée par un moment autour de l'axe (O,z) :

$$\vec{M}_O(\text{reducteur} \rightarrow \text{tambour}) = \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ C_s \end{matrix}_{(x,y,z)} \text{ avec } C_s \text{ couple de sortie du réducteur.}$$

Le PFD appliqué au tambour en rotation uniforme autour de l'axe (O,z), donne comme équation de moment autour de z :

$$N(c \rightarrow t) + N(\text{bâti} \rightarrow \text{tambour}) + C_s = 0$$

**Question C-9 :** Expliquer pourquoi  $N(\text{bâti} \rightarrow \text{tambour}) = 0$ . En déduire la valeur de  $C_s$ .

## 4. Couple moteur :

**Question C-10 :** Exprimer en fonction de  $C_m$ ,  $\omega_m$  et  $C_s$ ,  $\omega_s$ , les grandeurs suivantes :

- $P_{\text{mot}}$  puissance développée par le moteur
- $P_{\text{red}}$  puissance en sortie de réducteur
- $\eta$  rendement du réducteur

**Question C-11 :** Dans l'expression du rendement faire apparaître le rapport  $r = \frac{\omega_s}{\omega_m}$ , puis exprimer

$$C_m \text{ en fonction de } C_s, r \text{ et } \eta_{\text{red}}.$$

**Question C-12 :** Calculer  $C_m$  nécessaire pour soulever la charge maximum.

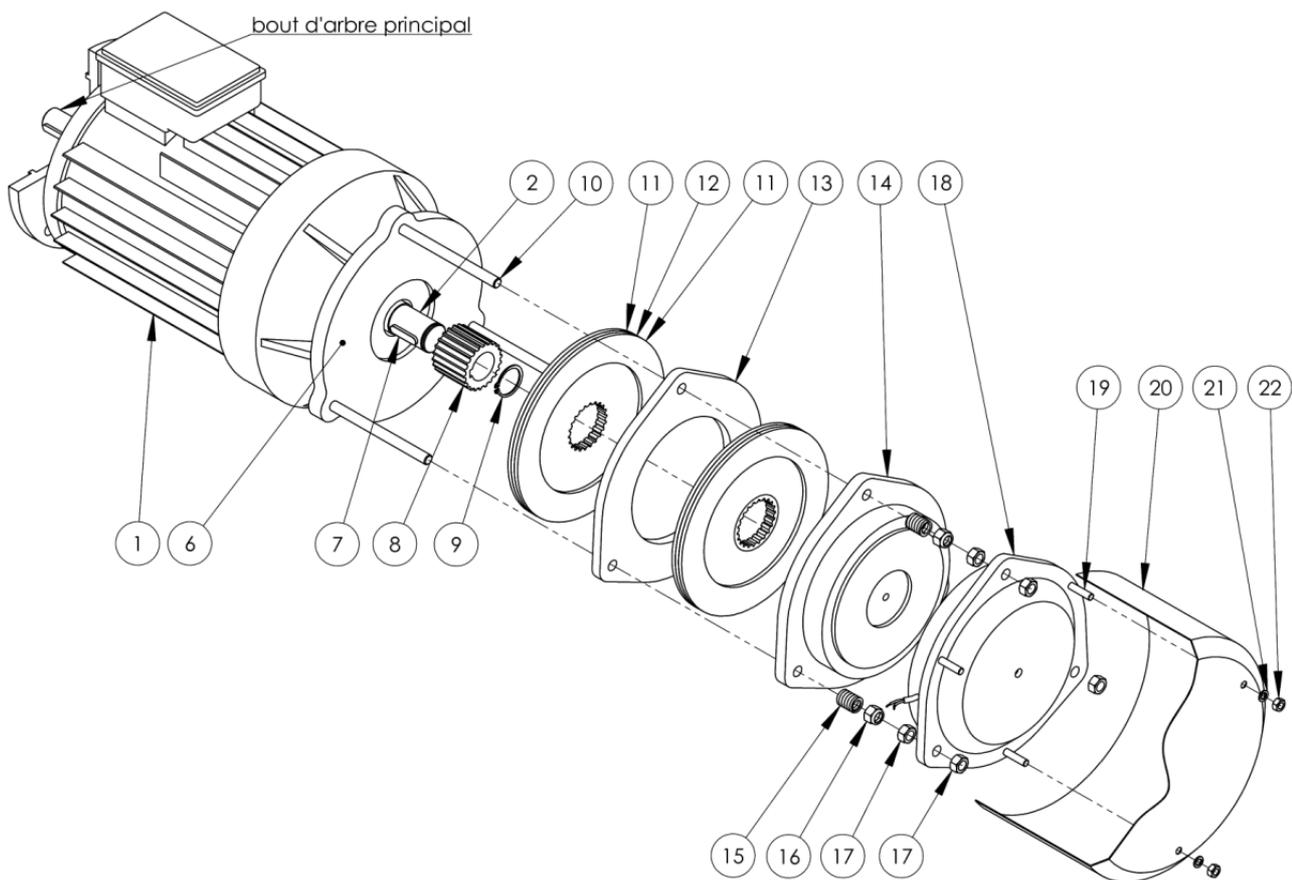
**Question C-13 :** Calculer le couple moteur disponible à 1 260 tr/min (on se servira de la puissance annoncée par le constructeur). Conclusion quant à la validité du choix du moteur ?

## Partie D : Fonction retenir ou freiner la charge

### Présentation :

Le moteur du treuil de levage est équipé d'un frein électromagnétique à manque de courant, monté à l'arrière du moteur, sur le deuxième bout d'arbre. Il se compose de :

- Deux disques de freinage **12**, coulissants sur une douille cannelée **8**. Celle-ci est clavetée sur le deuxième bout d'arbre **2** du moteur.
  - Les disques sont équipés de garnitures de frein **11** des deux cotés.
  - Un plateau fixe **6** faisant corps avec le flasque arrière du moteur et supportant 3 colonnes **10** en acier traité.
  - Un plateau flottant **13**, immobilisé en rotation par les colonnes et séparant les deux disques.
  - L'armature mobile **14** de l'électro-aimant, coulissant sur les colonnes **10**.
  - La culasse bobinée **18**, fixée sur les colonnes par les écrous de réglage et d'immobilisation **17**.
  - Des ressorts **15** précontraints par les écrous auto-freinés **16**.
- Ces ressorts exercent l'effort normal N transmis aux disques de freinage.



En l'absence de courant dans la bobine de la culasse, l'électro-aimant est au repos et les ressorts plaquent le plateau de l'armature mobile contre les disques de frein. L'arbre moteur est freiné.

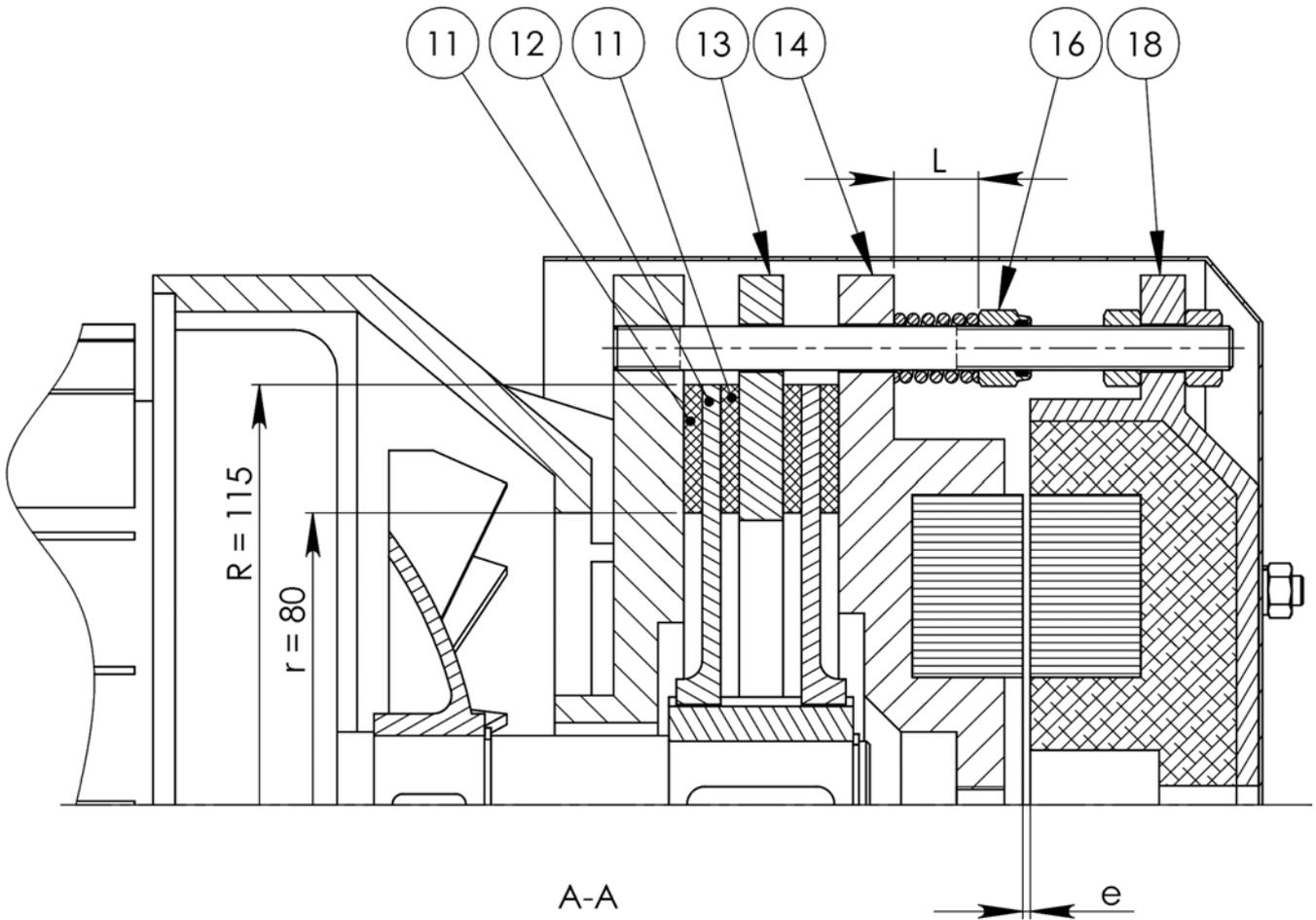
Lorsque la bobine est alimentée, la culasse attire fortement l'armature mobile qui libère les disques. L'arbre moteur est libre de tourner.

La notice d'entretien prévoit de vérifier les réglages du frein toutes les 3 mois ou 450 h de fonctionnement.

*Dans l'étude qui suit, on se propose*

- de déterminer le réglage correct de la compression des trois ressorts
- d'analyser l'influence de l'usure des garnitures sur le fonctionnement du frein

La figure ci-dessous montre l'électro-frein hors tension, c'est-à-dire en position « freinage » :



Pour un frein à disques, la relation donnant le moment de freinage est :

$$M_f = n \cdot f \cdot N \cdot R_{\text{moyen}} \quad \text{avec}$$

$n$  : nombre de surfaces frottantes

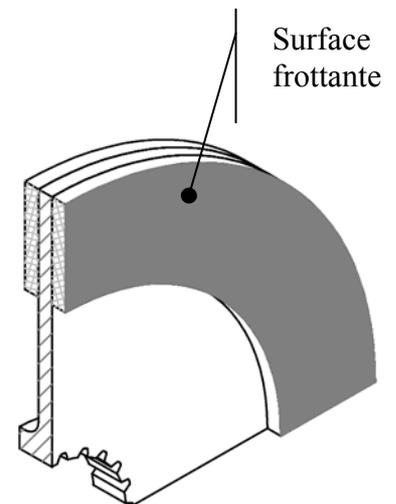
$f$  : coefficient de frottement entre surfaces frottantes

$N$  : effort normal

$R_{\text{moyen}}$  : rayon moyen des surfaces frottantes

Données :

- Le moment nominal requis pour freiner la charge est :  
 $M_f = 85 \text{ N.m}$  .
- Le coefficient de frottement d'une garniture Ferrodo sur un plateau acier vaut  $f = 0,25$  .



**Question D-1 :** Calculer l'effort normal  $N$  nécessaire pour obtenir le moment nominal de freinage.

**Question D-2 :** En déduire l'effort  $F_{\text{ressort}}$  que doit exercer chacun des trois ressorts.

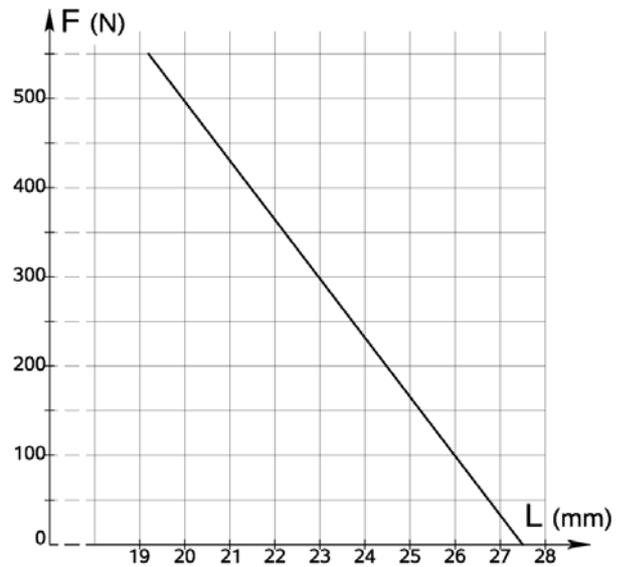
Les ressorts ont les caractéristiques suivantes :

- longueur libre (sans charge)  $L_0 = 27,5$  mm
- longueur totalement comprimé (spires jointives)  $L_C = 19,2$  mm
- raideur  $k = 66,5$  N/mm

On rappelle que l'effort exercé par un ressort est proportionnel à la déformation :

$$F_{\text{ressort}} = k \cdot (L_0 - L)$$

voir ci-contre graphe  $F(L)$

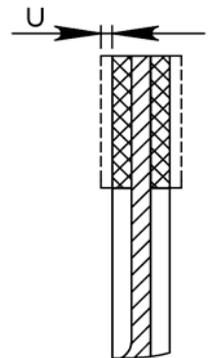


**Question D-3 :** Déterminer la longueur  $L$  qu'il faut donner au ressort pour obtenir le moment nominal de freinage.

**Question D-4 :** Quel est le type d'écrou utilisé pour effectuer ce réglage. Expliquer ce choix.

Le bon fonctionnement de l'électro-aimant est lié à la valeur de l'entrefer  $e$  qui ne doit pas dépasser  $e_{\text{max}} = 1,5$  mm. Celui-ci est réglé à l'aide des écrous **17** à la valeur initiale  $e_i = 0,9$  mm. Les garnitures des disques s'usent à la suite des freinages répétés et cette usure provoque une variation de l'entrefer.

**Question D-5 :** Exprimer la valeur de l'entrefer  $e$  après usure d'une valeur  $u$  de chaque garniture.  
À partir de quelle usure des garnitures doit-on refaire le réglage de l'entrefer ?



**Question D-6 :** Cette usure a-t-elle une influence sur le moment de freinage ? Expliquer.

## Partie E-Fonction Limiter la charge

---

L'objectif de cette partie est de remplacer le dispositif actuel de sur-sécurité de charge par un composant standard.

### Description du problème

La charpente d'une grue et son treuil sont calculés et réalisés pour une charge maximale. Le rôle du dispositif de sur-sécurité de charge est d'interdire le dépassement de cette valeur maximale.

L'anneau dynamométrique en liaison avec le châssis et le treuil subit une déformation proportionnelle à la charge soulevée. Cette déformation déclenche la mise en sécurité de l'alimentation du treuil. L'effort sur l'anneau qui provoque l'interruption est réglé à 12 000 N.

Ce dispositif est actuellement réalisé par le fabricant de la grue, et celui-ci souhaite le remplacer par un composant standard. On souhaite de plus que les liaisons pivots soient remplacées par des liaisons rotules pour éviter des efforts parasites dans le capteur de force.

Le choix s'est porté sur le modèle de capteur d'effort présenté ci-dessous et dont les caractéristiques techniques sont données ci-dessous

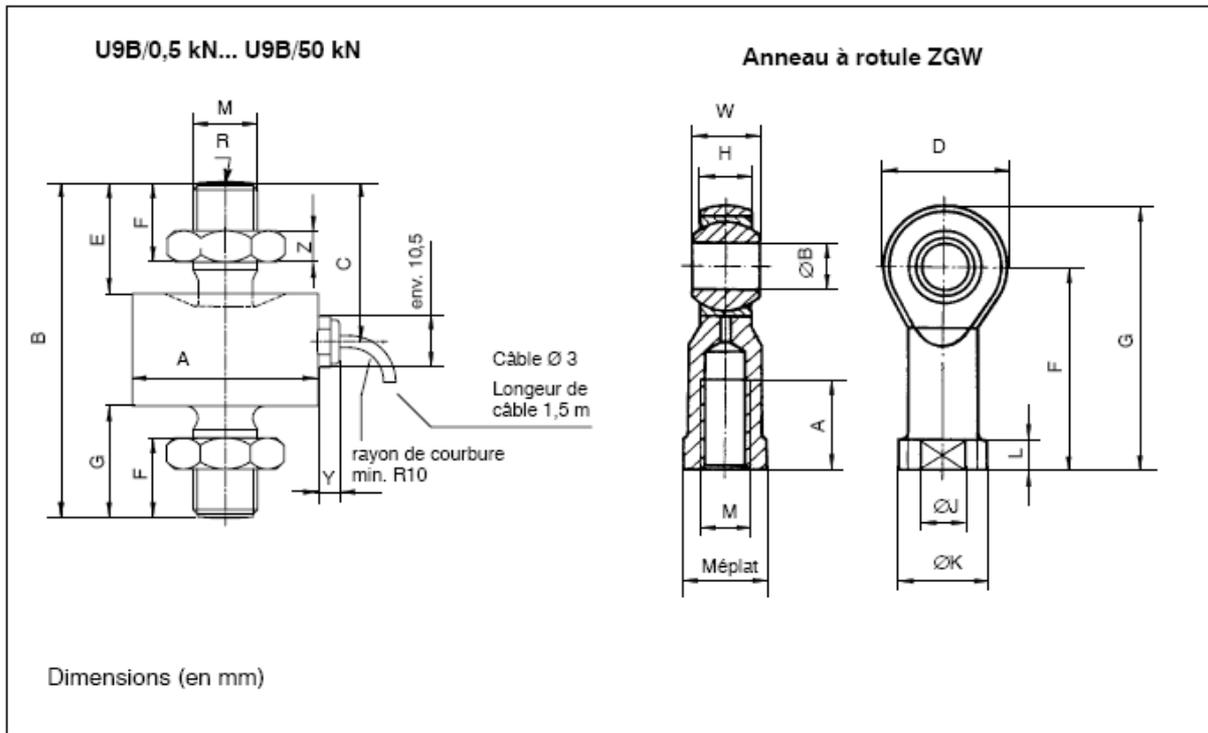


### U9B

Capteurs de force

#### Caractéristiques spécifiques

- Capteurs de force en acier inoxydable
- Force nominale 50 N ... 50 kN
- Technologie à jauge de contrainte
- Capteurs de force de traction ou compression
- Petites dimensions
- Classe de précision 0,5
- Anneau à rotule sans entretien pour introduction de force



Force nominale U9B	A <sub>0,1</sub>	B	C	E	F	G	M	R	Y	Z
0,5...1 kN	26	44,5	20,5	13	9,5	13,5	M5	20	env. 5,5	2,7
2...20 kN	26	60	28,5	21	16	21	M10	40	env. 5,5	5
50 kN	46	84	40	28	21,5	28	M16x1,5	80	env. 5,5	8

Anneau à rotule:

Force nominale ZGW	A	B <sup>H</sup>	D	F	G	H	J	K	L	M	SW	W
50 N ... 1 kN	10	5	18	27	36	6	9	11	4	M5	9	8
2...20 kN	20	10	28	43	57	10,5	15	19	6,5	M10	17	14
50 kN	28	16	42	64	85	15	22	27	8	M16x1,5	22	21

**Numéros de commande:**

**Capteurs de force**

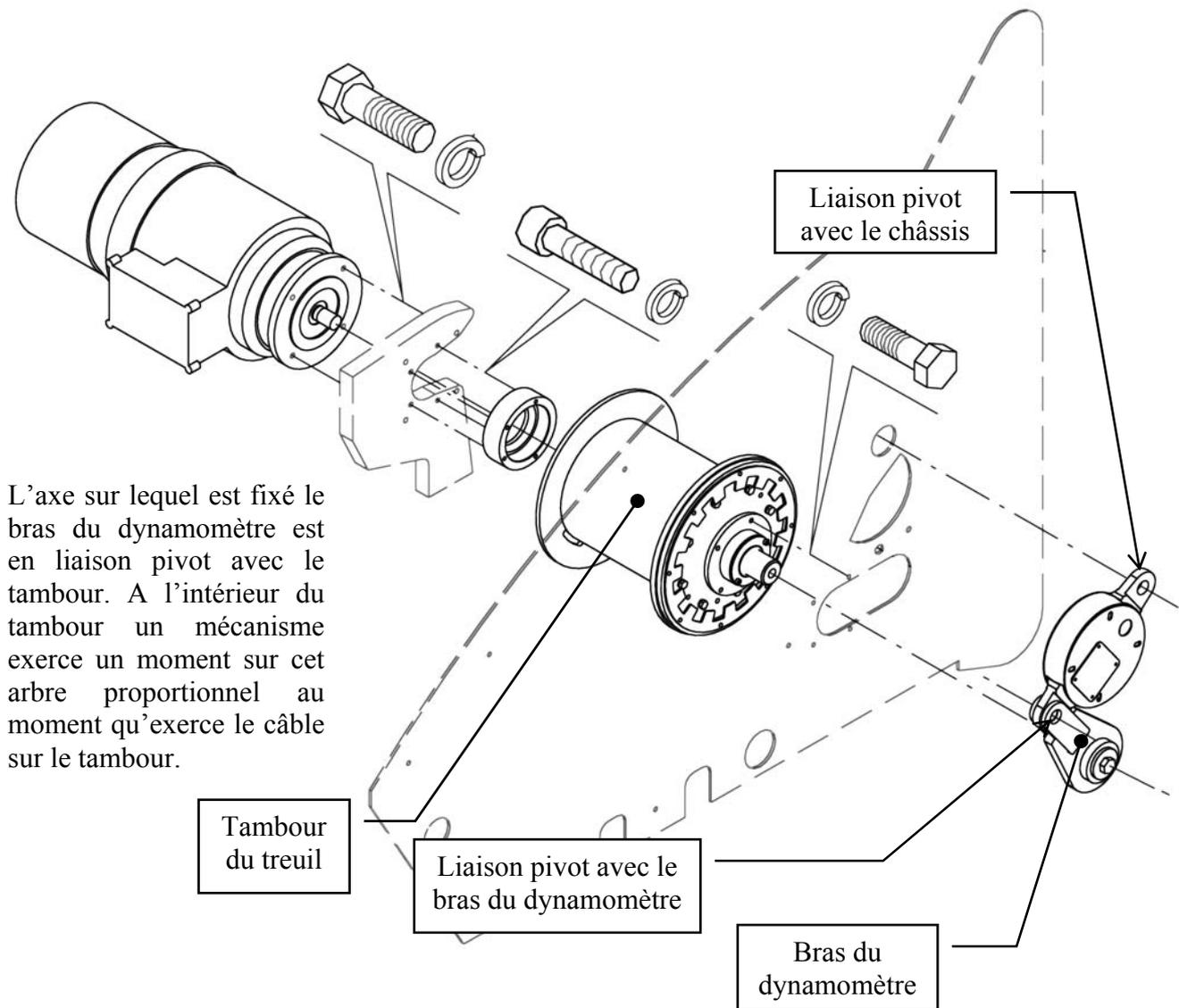
Code de commande	Force nominale										Unité	
	50	100	200	0,5	1	2	5	10	20	50		
1-U9B/ ...												N kN

Exemple de commande: 1-U9B/2kN

**Accessoires**, à commander séparément

1-ZB/100kg/ZGW	Anneau à rotule 50 N ... 1 kN
1-U9/20kN/ZGWR	Anneau à rotule 2 kN ... 20 kN
1-U9A/50kN/ZGW	Anneau à rotule 50 kN
D-15D/MONT	Connecteur D à 15pôles, monté sur câble capteur
D-MS/MONT	Connecteur MS3106PEMV, monté sur câble capteur

Implantation actuelle du dispositif de sur-sécurité de charge :



L'axe sur lequel est fixé le bras du dynamomètre est en liaison pivot avec le tambour. A l'intérieur du tambour un mécanisme exerce un moment sur cet arbre proportionnel au moment qu'exerce le câble sur le tambour.

### Travail demandé

Sur DR4 :

**Question E-1 :** Indiquez les références des composants à commander.

**Question E-2 :** Sur le croquis, dessiner à main levée un éclaté de la solution que vous avez choisi pour réaliser la liaison entre le capteur et le treuil en y indiquant les composants que vous utilisez (anneaux élastiques, écrous, goupilles...).

**Question E-3 :** Définir la liaison entre le treuil et le capteur sur la vue en coupe partielle suivant F.

**Question E-4 :** Définir la liaison entre le capteur et l'anneau à rotule ZGW sur la vue en coupe partielle suivant F.

Question A-1 : Liaison L<sub>2-3</sub> : .....

**DR1**

**Liaison 1-6**

Question A-2 :

Rx	Ry	Rz
Tx	Ty	Tz

Liaison L<sub>1-6</sub> : .....

**Liaison 1-4**

Question A-3 :

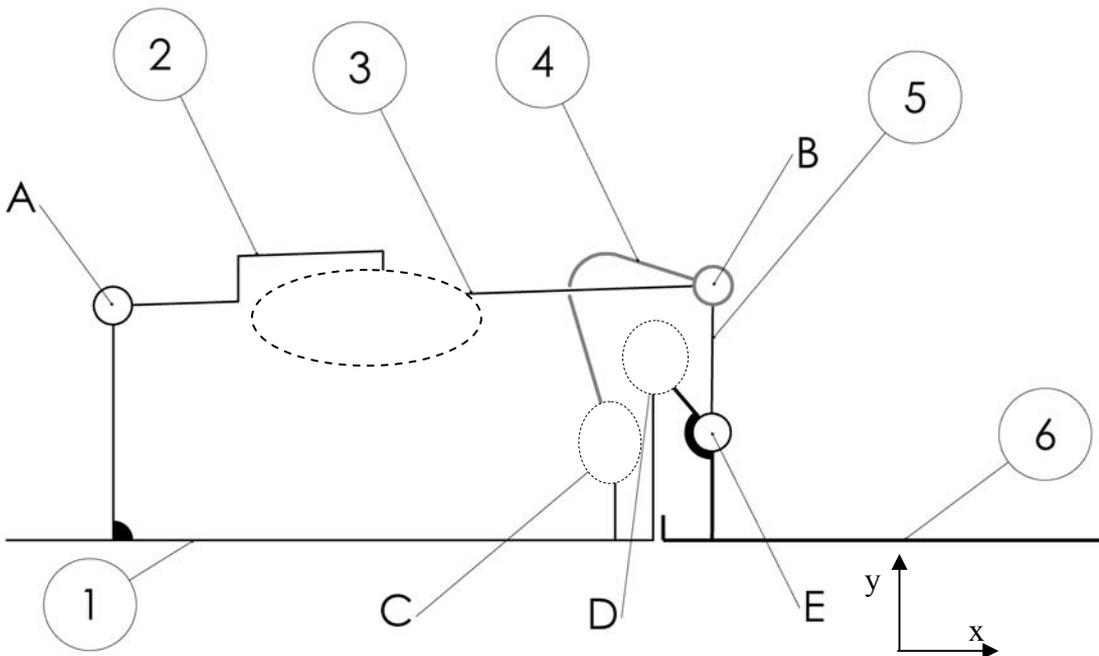
1={1,20,.....}

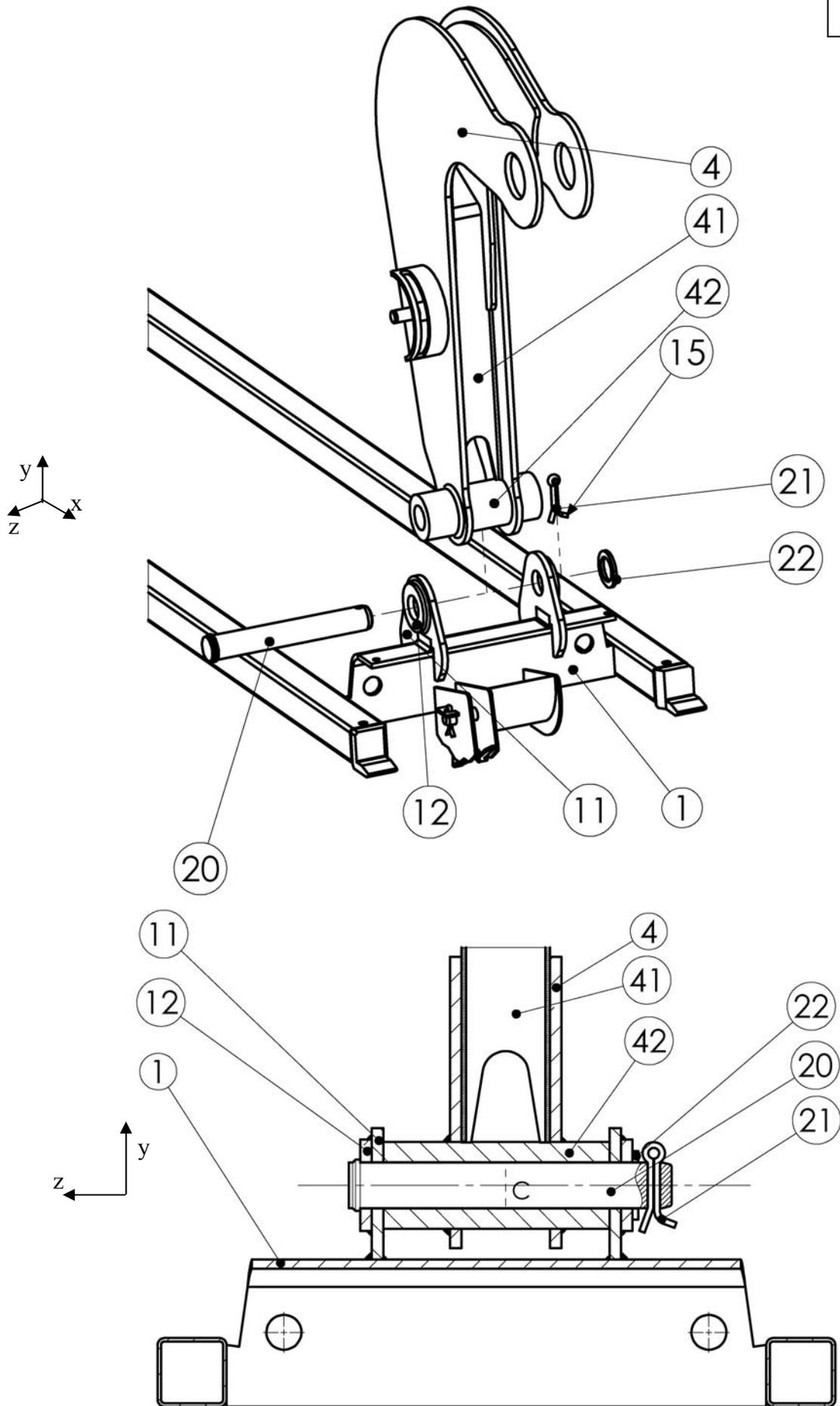
4={4,.....}

Question A-5 et A-6 :

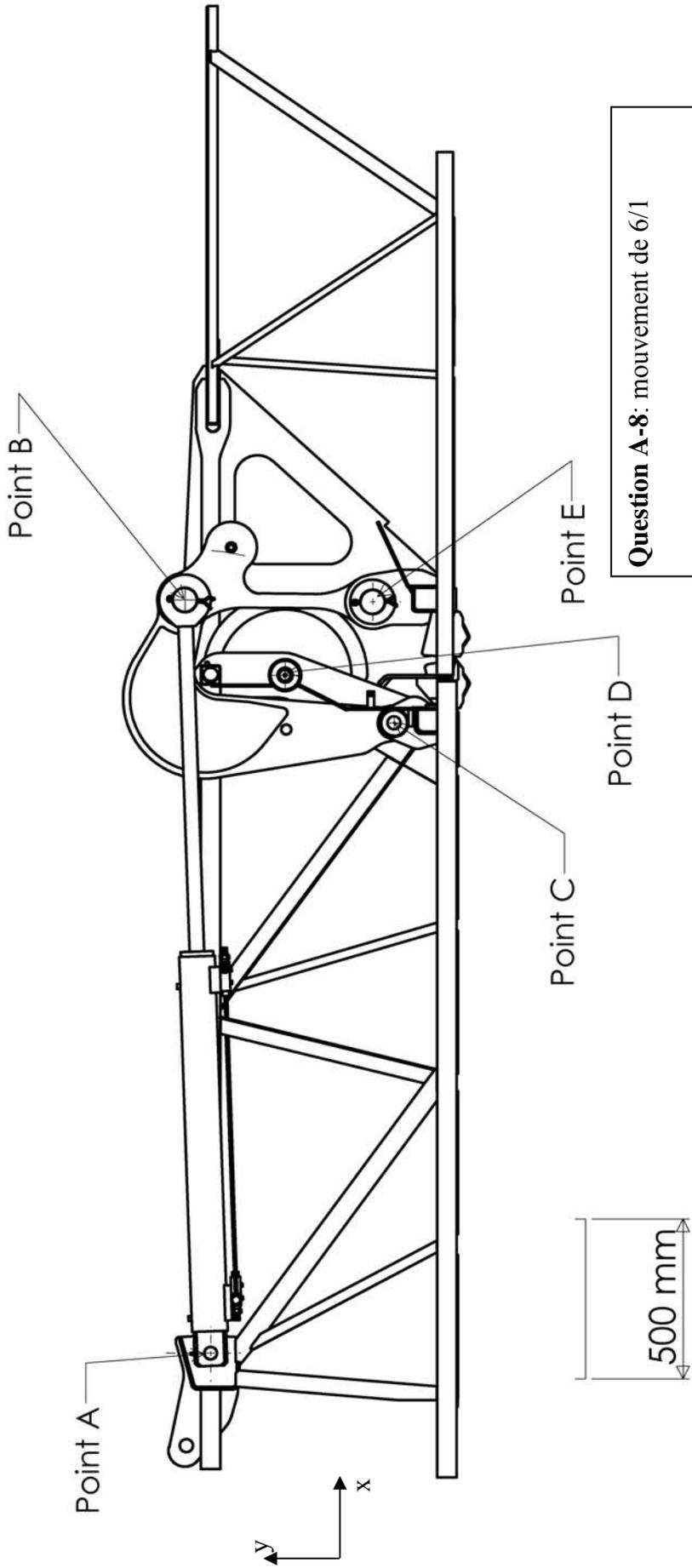
Couleur surface	Nature surface	Degrés de liberté supprimés	Liaison résultante						
		<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center; width: 100%;"> <tr> <td>Rx</td> <td>Ry</td> <td>Rz</td> </tr> <tr> <td>Tx</td> <td>Ty</td> <td>Tz</td> </tr> </table>	Rx	Ry	Rz	Tx	Ty	Tz	
Rx	Ry	Rz							
Tx	Ty	Tz							
		<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center; width: 100%;"> <tr> <td>Rx</td> <td>Ry</td> <td>Rz</td> </tr> <tr> <td>Tx</td> <td>Ty</td> <td>Tz</td> </tr> </table>	Rx	Ry	Rz	Tx	Ty	Tz	
Rx	Ry	Rz							
Tx	Ty	Tz							

Question A-7





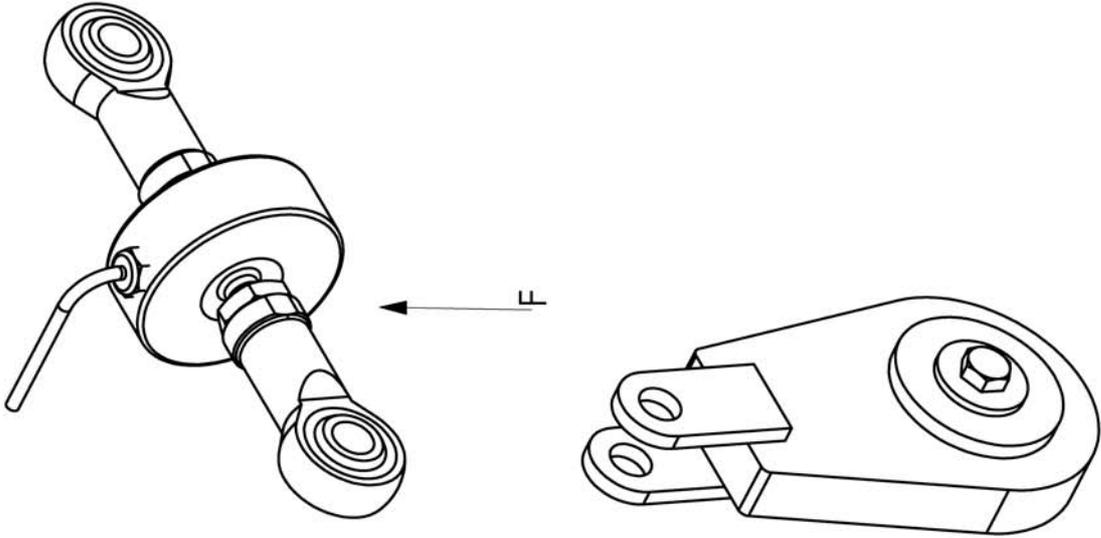
Question A-12 : course du vérin :



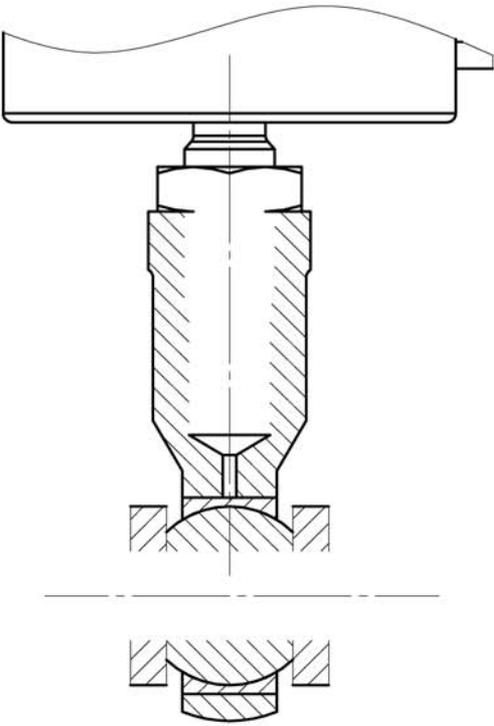
Question A-8: mouvement de 6/1  
.....  
Question A-10 : distances BC et BE  
.....  
.....

Echelle avant reprographie 1 :20

Croquis à compléter



Echelle indifférente



Vue en coupe partielle suivant F  
A compléter

Zone de travail



Vue suivant F du système coupé

Référence des composants à commander :

.....  
.....