

Epreuve de **Génie Mécanique**

Temps conseillé : 3 heures

Aucun document n'est autorisé

Calculatrice autorisée

L'épreuve de génie mécanique comporte :

- le texte de l'épreuve (pages numérotées de 1/7 à 7/7)
- 3 documents techniques (pages numérotées de 1/3 à 3/3)
- 2 documents réponses (pages numérotées 1/2 et 2/2)

Le sujet de l'épreuve GM se compose des parties suivantes :

Présentation

- A- Etude du mouflage du câble.
- B- Etude du balancement de la charge.
- C- Etude du frein à mâchoire.
- D- Etude de la résistance des axes des galets.
- E- Description fonctionnelle.

Les parties (A, B, C, D et E) sont **indépendantes**.

Le candidat devra composer et rendre obligatoirement, **(même vides)** :

- le cahier des réponses réservé à l'épreuve
- les deux documents réponses.

Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

PONT ROULANT BIPOUTRE

Présentation :

Dans les ateliers de production de grandes pièces mécaniques, on a souvent besoin de déplacer ces dernières d'un poste à un autre, l'une des solutions fréquemment utilisée est le pont roulant . (fig1, doc1/3)

C'est un système de manutention suspendu au dessus de l'atelier, et qui peut effectuer deux translations afin d'atteindre toutes les zones de production.

Il est constitué des principaux éléments suivants :

Le corps du pont : Formé par deux poutres et deux sommiers rigidement liés, et équipé de galets de roulement pour effectuer le mouvement linéaire, appelé **translation**, sur des rails. (fig1, doc1/3). Deux galets sont simples et deux autres sont entraînés par des **moto-réducteurs de translation** équipés de freins autobloquants par manque de courant (fig2, doc2/3).

Le treuil : lui aussi formé par :

Le corps du treuil : équipé de deux galets simples et deux autres entraînés par des **moto-réducteurs de direction** équipés eux aussi de freins autobloquants par manque de courant. (fig3, doc2/3). Le mouvement linéaire effectué est appelé **direction**.

Le moteur de levage : qui génère la puissance nécessaire pour lever la charge.

Le réducteur à engrenages : qui transmet la puissance du moteur vers le tambour.

Le tambour : qui permet d'enrouler ou de dérouler le câble de levage.

Le frein à mâchoires : qui permet de freiner le tambour au moment où le moteur de levage n'est pas alimenté. Ce frein est monté sur l'axe du moteur de levage.(fig4,doc3/3)

Le câble et ses accessoires : (fig5, doc3/3) Il n'est pas relié directement au crochet mais enroulé sur des poulies, cette technique s'appelle **mouflage du câble** ; quatre brins sont ainsi formés à partir du même câble.

Ci-dessous sont données quelques caractéristiques du pont roulant étudié :

Capacité de charge	12500 kg (12,5 tonnes)
Diamètre du câble	15 mm
Course (verticale) du crochet	9 mètres (9 m)
Portée (voir fig1, doc1)	16 mètres (16m)
Vitesse de levage	Petite vitesse 0,8 m/min - Grande vitesse 5 m/min
Vitesse de translation	Petite vitesse 10 m/min - Grande vitesse 40 m/min
Vitesse de direction	Petite vitesse 5 m/min - Grande vitesse 20 m/min
Masse du pont roulant seul	4500 kg (4,5 tonnes)

A- Etude du mouflage du câble :

Question A1 : (voir document réponse 1/2) :

- Hypothèses :
- Les poids du câble et du crochet sont négligés.
 - Les brins sont tous de direction verticale.
 - L'effort de traction **que subit un brin** est noté **T** (Tension du brin).
 - Le couple appliqué sur le tambour pour soulever la charge est noté **C_t**.
 - lorsque le nombre de brins est supérieur à 1, les tensions exercées sur chacun d'eux sont **identiques**.

- Données :
- Rayon du tambour **noté R_t**.
 - Poids de la charge **noté P**.

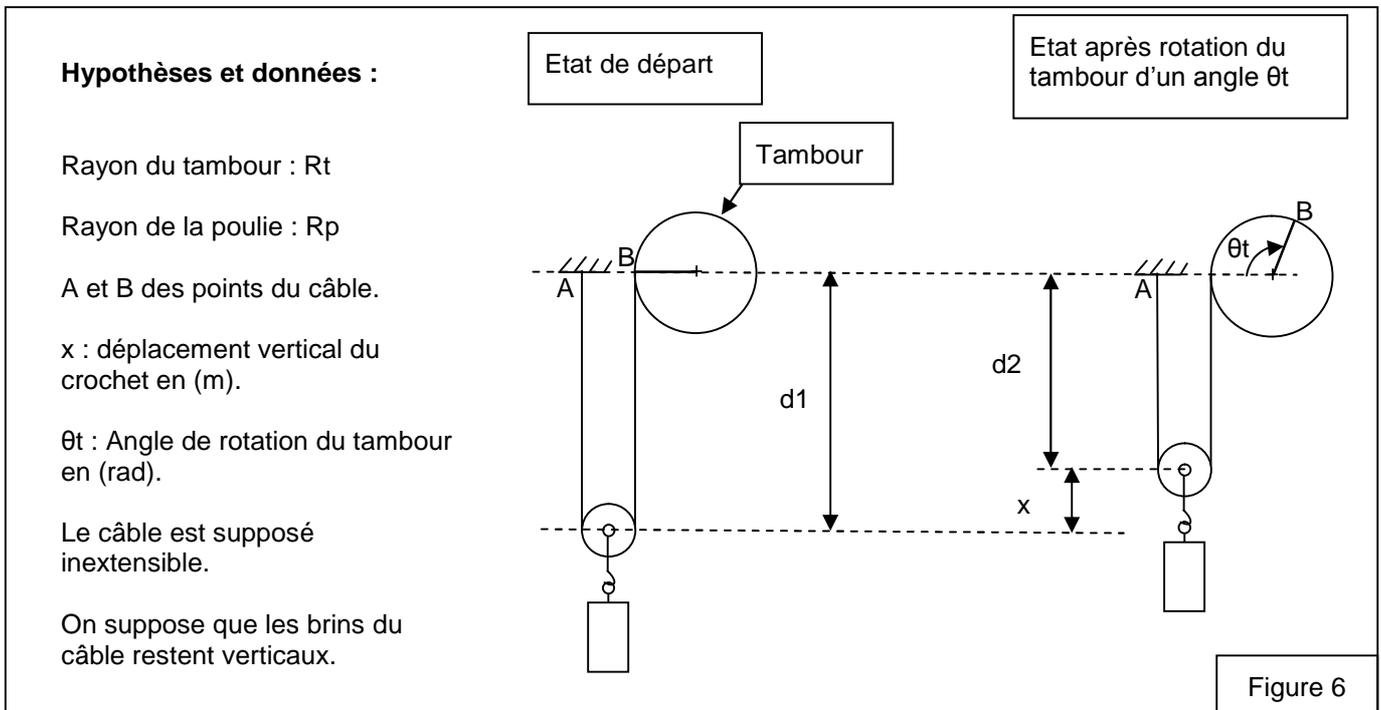
Sur le tableau du **document réponse 1/2** :

- Tracer, **pour chaque cas**, le couple C_t, le poids P et les tensions T.
- Déterminer les expressions de T et C_t pour chaque cas.

Question A2 : Quel est le cas qui répond à l'objectif suivant : (minimiser la tension T pour minimiser le diamètre du câble et minimiser le couple nécessaire, qu'il faut appliquer sur le tambour, pour soulever la charge).

Question A3 : En se basant sur le schéma de la **figure 6** ci-dessous:

- écrire la longueur AB du câble dans les deux états du système et en déduire la relation entre **x** et **θ_t**.
- en déduire la relation entre la vitesse linéaire du crochet **v** et la vitesse angulaire du tambour **ω_t**.



Question A4 : En se basant sur le schéma de la **figure 7** ci-dessous:

- écrire la longueur AB du câble dans les deux états du système et en déduire la relation entre **x** et **θ_t**.
- en déduire la relation entre la vitesse linéaire du crochet **v** et la vitesse angulaire du tambour **ω_t**.

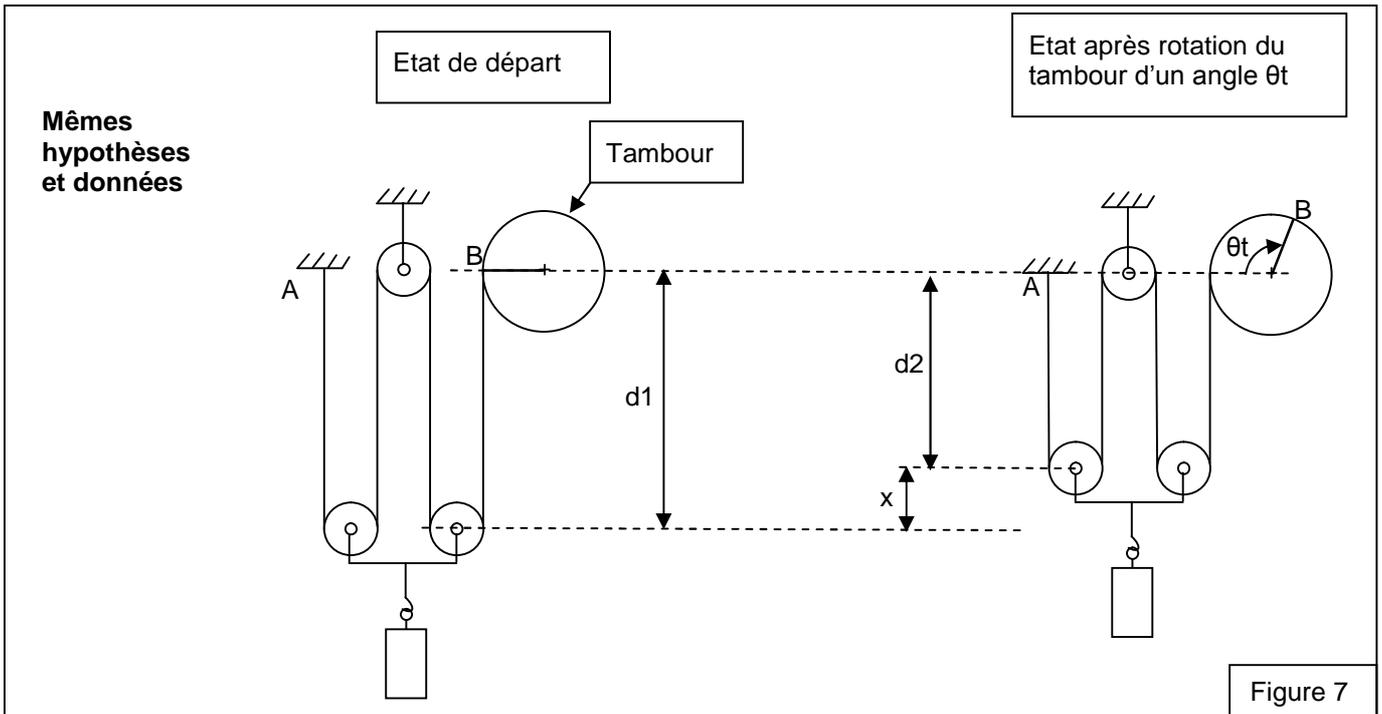


Figure 7

Question A5 : Dans le cas du mouflage à 4 brins (Figure 7), quelle est la longueur de câble à enrouler sur le tambour pour déplacer le crochet d'une distance vertical de 9 mètres. (Course totale du crochet)

B- Etude du balancement de la charge :

Pour déplacer la charge par le treuil (sens de direction), ou par le pont (sens de translation), celle-ci fait une déviation surtout en phase d'accélération ; et le câble subit une tension supplémentaire.

On se propose d'étudier partiellement ce phénomène à travers le modèle schématisé ci-contre :

(0) : Bâti fixe. $R_0(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ repère galiléen lié à (0).

(1) : Chariot, en liaison glissière parfaite avec (0) d'axe (O, \vec{x}_0) , de masse m_1 , de centre d'inertie A. Il est soumis à l'action des moto-réducteurs modélisée

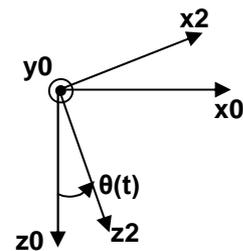
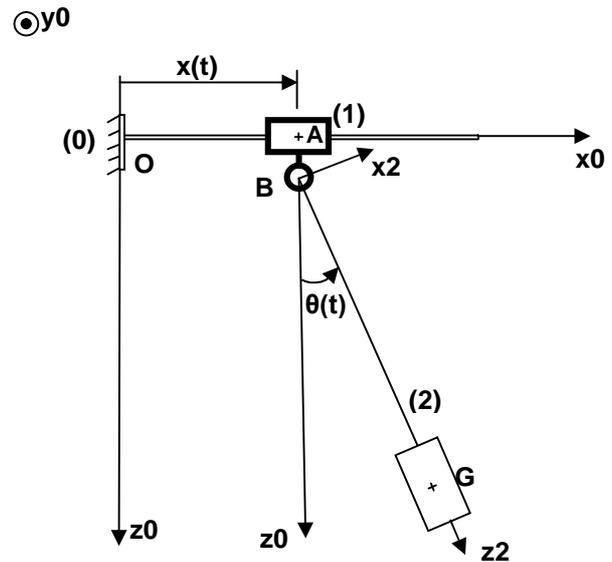
$$\text{par le torseur } \{Mot \rightarrow 1\} = \begin{Bmatrix} F\vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_A$$

On pose $\vec{OA} = x(t)\vec{x}_0$, $x(t)$ paramètre variable.

$$\vec{AB} = a\vec{z}_0, \text{ a constante positive.}$$

Le câble et la charge forment un seul solide indéformable **(2)**, en liaison pivot parfaite avec (1) d'axe (B, \vec{y}_0) .

Il est de masse m_2 (concentrée en G, le câble étant supposé sans masse), de centre d'inertie G.



$R_2(\vec{x}_2, \vec{y}_0, \vec{z}_2)$ repère lié à (2). $\theta(t) = (\vec{z}_0, \vec{z}_2) = (\vec{x}_0, \vec{x}_2)$; $\theta(t)$ paramètre variable.

On pose : $\overline{BG} = L\vec{z}_2$, L constante positive.

$$\{1 \rightarrow 2\} = \left\{ \begin{array}{c} -T \vec{z}_2 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_B \quad T : \text{Tension du câble.}$$

L'action de pesanteur est prise en compte, g (m/s²).

Question B1 : Tracer le graphe d'analyse dynamique.

Question B2 : Appliquer le théorème de la résultante dynamique à (1) en projection sur \vec{x}_0 .

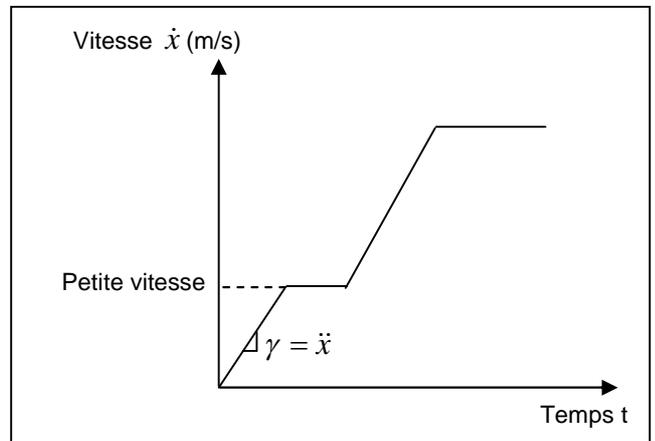
Question B3 : Appliquer le théorème de la résultante dynamique à (2) en projection sur \vec{x}_2 et \vec{z}_2 .

Question B4 : En déduire trois équations sous la forme :
$$\begin{cases} m_2 L \ddot{\theta} + \dots \\ T = m_2 g \cos \theta + \dots \\ F = (m_1 + m_2) \ddot{x} + \dots \end{cases}$$
 (l'expression de F ne contenant pas le terme "g": accélération de pesanteur)

Question B5 : Que deviennent ces équations dans le cas de faibles déviations : (θ et $\dot{\theta}$ très faibles).

Question B6 : En phase de démarrage, on suppose que $\ddot{x} = \gamma = \text{constante}$. en (m/s²).

Dans ces conditions, et moyennant les équations de la question B5, le système aura le comportement représenté par les graphes ci-contre :

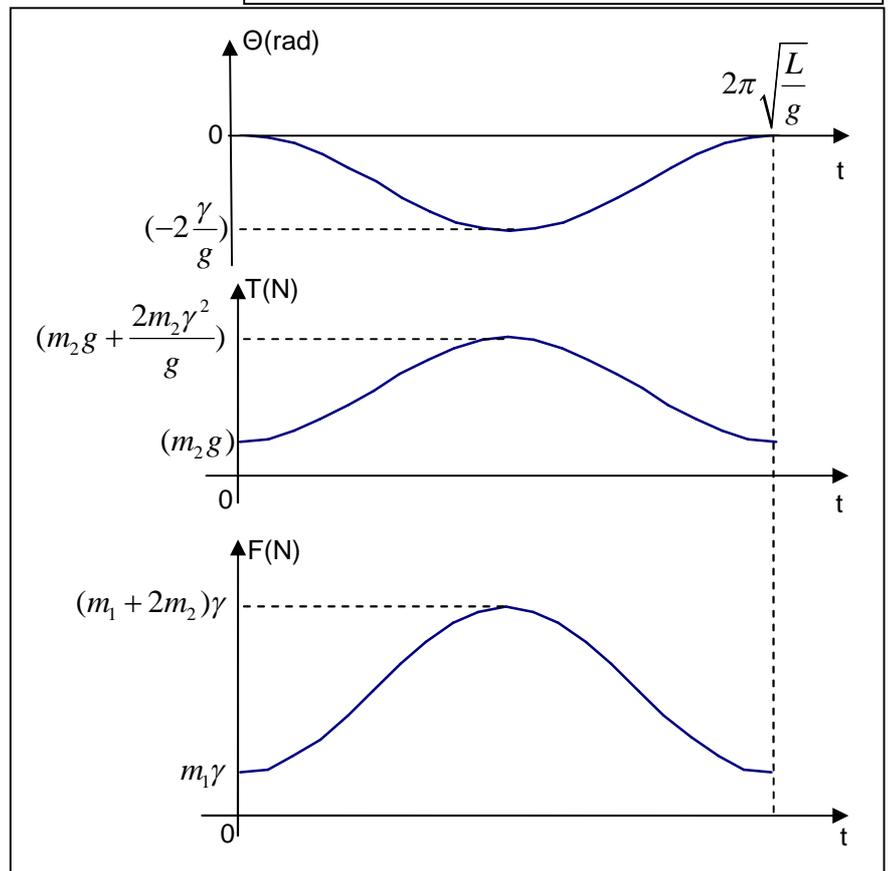


Données : $m_2 = 12500 \text{ kg}$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

* quelle est la valeur de l'accélération γ pour laquelle la déviation maximale de la charge $|\theta_{\text{maxi}}|$ est égale à 10° (10 degrés).

* pour cette valeur d'accélération, quelle est la surtension que subit le câble relativement à l'état initial T (t=0).



Question B7 : Montrer que la matrice d'inertie de (2) s'écrit

$$\bar{I}(G, 2) = \bar{0} \quad \text{matrice nulle, et } \bar{I}(B, 2) = \begin{bmatrix} m_2 L^2 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 L^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{(\bar{x}2, \bar{y}0, \bar{z}2)}$$

Question B8 : Déterminer l'énergie cinétique de (1) par rapport à (0) $E_c(1/0)$ et de (2) par rapport à (0) $E_c(2/0)$.

Question B9 : Déterminer l'énergie cinétique de l'ensemble (1,2) par rapport à (0).

Question B10 : Déterminer la puissance de l'action de pesanteur sur l'ensemble (1,2) par rapport à (0) $P(pes \rightarrow (1,2)/0)$.

Question B11 : La puissance **des deux moto-réducteurs de translation** du pont roulant est notée P_m , on suppose que $\dot{\theta}$ est très faible ($\dot{\theta} \approx 0$) et que toutes les liaisons sont parfaites ; appliquer le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble (1,2) et déterminer P_m . Données : $m_1=4500 \text{ kg}$, $m_2=12500 \text{ kg}$, vitesse et accélération de translation $\dot{x} = 40 \text{ m/min}$, $\ddot{x} = \gamma = 0,85 \text{ m/s}^2$.

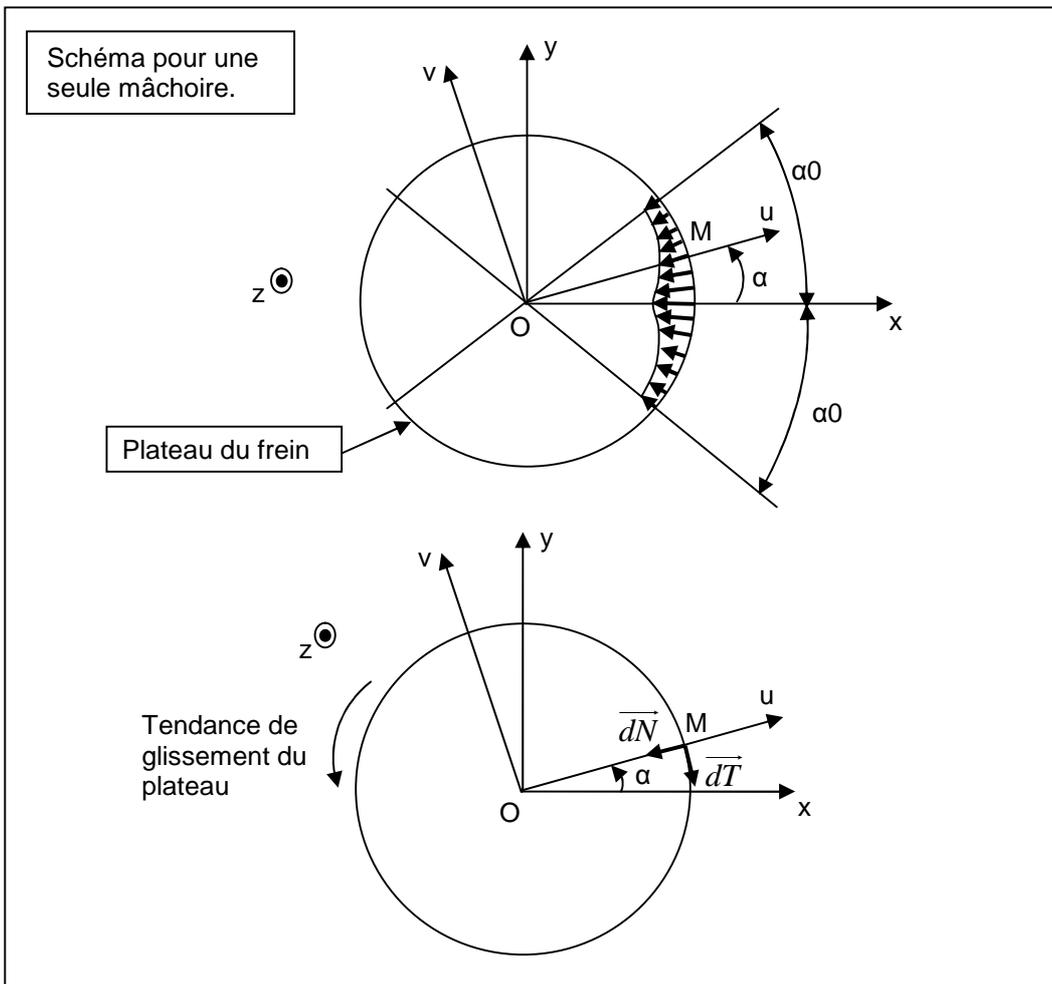
C- Etude du frein à mâchoire : (voir doc2 et doc3/3)

L'effort presseur appliqué sur les deux mâchoires génère, entre celles-ci et le plateau, une pression de contact qui crée le couple de freinage.

La pression de contact est représentée sur la figure ci-dessous. Elle obéit à la loi :

$$p(\alpha) = p_{\max} \cos \alpha \quad \text{où } p_{\max} = p(0) : \text{pression maximale en (N/m}^2\text{)}$$

$$\text{et } \alpha \in [-\alpha_0, \alpha_0] \text{ en (rad)}$$



En un point M de la surface de contact, et vue la tendance de glissement, se crée donc un effort élémentaire $d\vec{F}$ tel que:

$$\begin{cases} d\vec{F} = d\vec{N} + d\vec{T} \\ = -dN \vec{u} - f dN \vec{v} \end{cases}$$

où dN: effort normal élémentaire $dN = p(\alpha) dS$
 $= p(\alpha).R.b.d\alpha$

f: coefficient de frottement
 R: rayon du plateau en (m)
 b: largeur du plateau en (m)

Question C1 : Déterminer le couple de freinage créé par une seule mâchoire : **Cf (une mâchoire).**

En déduire le couple de freinage créé par les deux mâchoires : **Cf (deux mâchoires).**

Question C2 : Montrer que l'effort résultant appliqué par une seule mâchoire sur le plateau est :

$$\vec{F} = -F_x \vec{x} - f F_x \vec{y} ; \text{ où } F_x \text{ est l'effort presseur qu'il faut exprimer en fonction des données.}$$

Question C3 : En déduire l'expression du couple de freinage **Cf (deux mâchoires)** en fonction de R, f, F_x et α_0 .

Question C4 : Le couple de freinage nécessaire pour freiner la charge maximale (12500 kg) est 480 (mN).

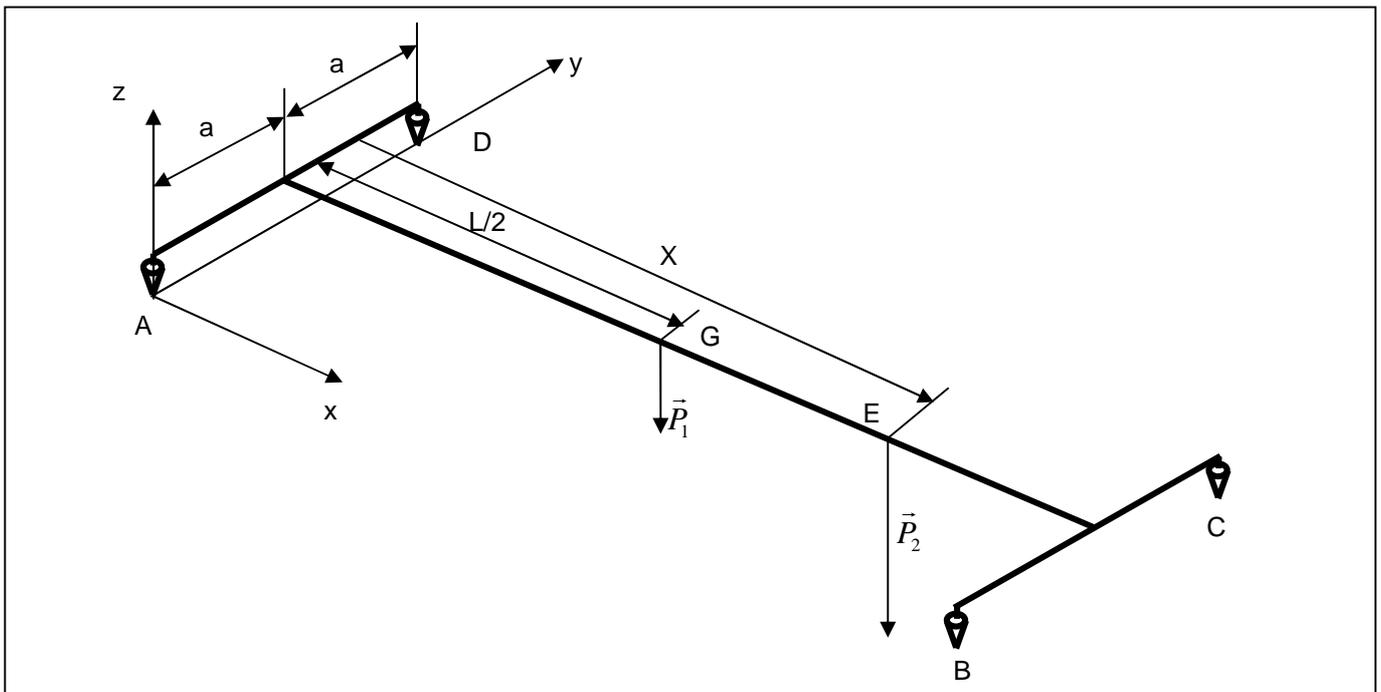
Moyennant les données suivantes (R=100 mm, $\alpha_0=35^\circ$ soit 0,610 rad, f =0,4) on trouve l'effort presseur nécessaire $F_x= 5652,4 \text{ N}$, et $F=6087,8 \text{ N}$.

Déterminer, par la statique graphique, (**sur le document réponse 2/2**) l'action du ressort qui permettra d'obtenir cet effort F. Etapes à suivre:

- 1- Equilibre de la tige (1).
- 2- Equilibre du bras (2) et de l'ensemble (Lever + mâchoire).

(expliquer brièvement votre résolution)

D- Étude de la résistance des axes des galets :



Le corps du pont roulant est schématisé ci-dessus, il repose sur les rails par **quatre liaisons ponctuelles A, B, C et D.** (ce sont les contacts des galets avec les rails). (Voir les documents 1/3 et 2/3)

\vec{P}_1 : poids du corps du pont roulant. (ici schématisé avec une seule poutre)

\vec{P}_2 : poids de l'ensemble (Treuil + charge) qui se déplace sur la poutre ;

$$\text{On pose : } \begin{cases} \overrightarrow{AB} = \overrightarrow{DC} = L\vec{x} & \overrightarrow{AG} = \frac{L}{2}\vec{x} + a\vec{y} \\ \overrightarrow{AD} = \overrightarrow{BC} = 2a\vec{y} & \overrightarrow{AE} = X\vec{x} + a\vec{y} \quad X \in [0, L] \end{cases}$$

Les actions des rails sur le pont aux points A, B, C et D sont de la forme : $\left\{ \begin{matrix} F_i \vec{z} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_i \quad i = A, B, C \text{ et } D$

Question D1 : Appliquer le principe fondamental de la statique au corps du pont roulant et déterminer les F_i en considérant ($F_A = F_D$) et ($F_B = F_C$).

Question D2 : Dimensionner les diamètres des axes des galets pour qu'ils résistent au cisaillement causé par les actions F_A , F_D , F_B et F_C .

on donne :

Masse du corps du pont roulant = 2700 kg.

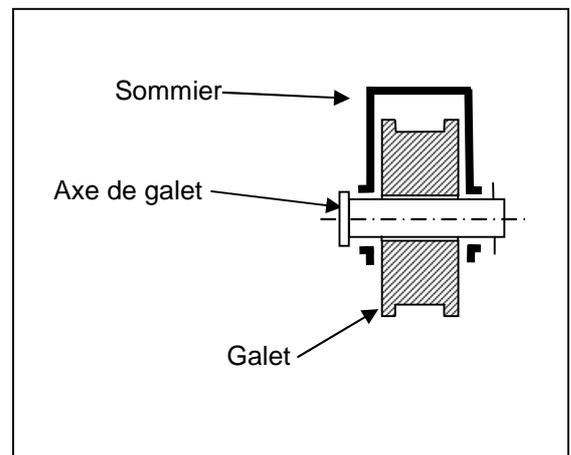
Masse du treuil = 1800 kg.

Masse de la charge = 12500 kg.

Accélération de pesanteur $g = 9,81 \text{ N/kg}$.

Limite élastique en cisaillement des axes $\tau_e = 250 \text{ MPa}$.

On adopte un coefficient de sécurité $s = 2,5$.



E- Description fonctionnelle :

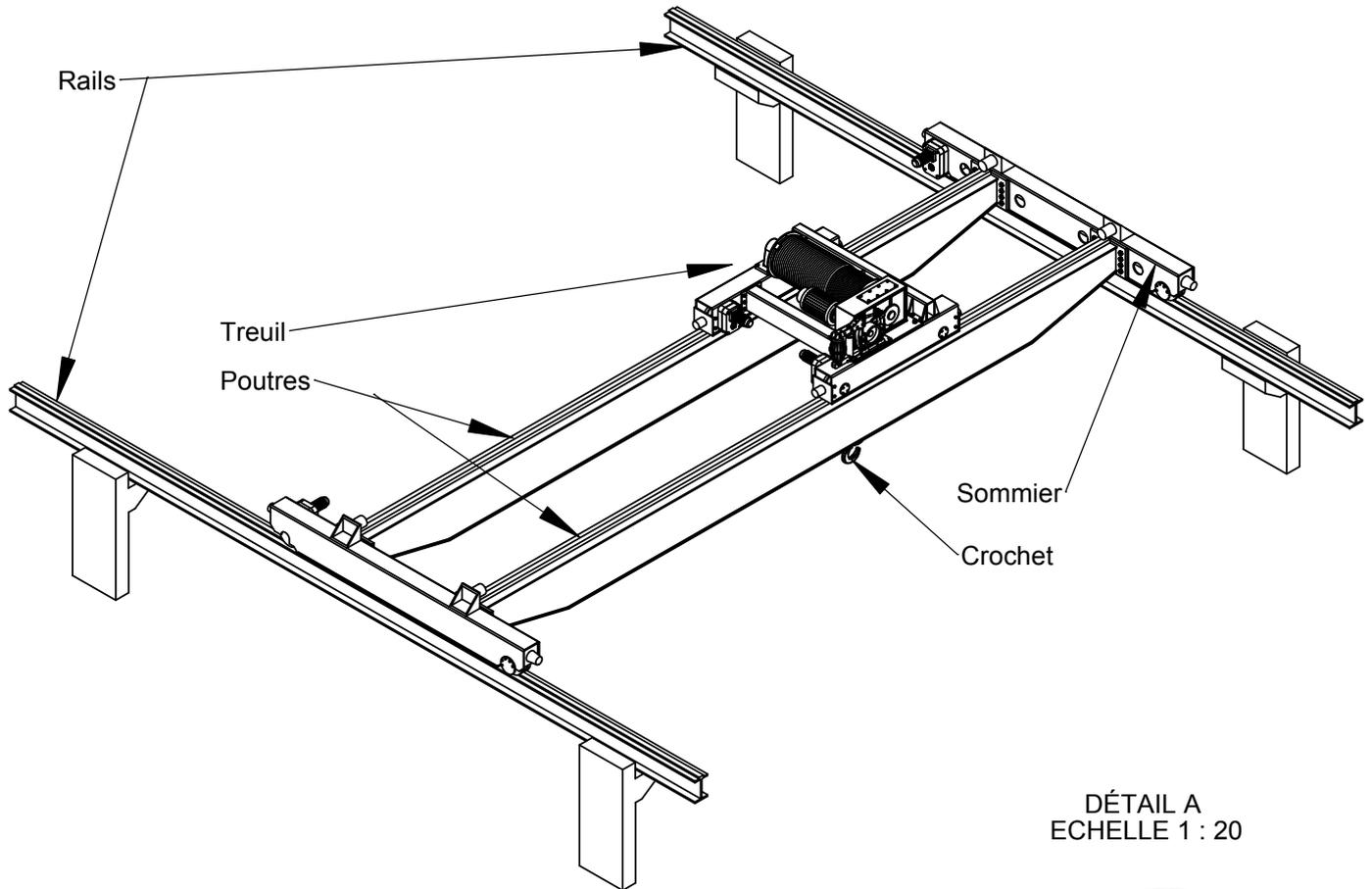
Question E1 : Proposer une description fonctionnelle, par **diagramme FAST**, du **pont roulant** dont les constituants sont :

- le système de commande,
- le système de levage,
- l'unité de mouvement « Direction »
- l'unité de mouvement « Translation ».

Question E2 : Proposer une description fonctionnelle, par **diagramme FAST**, du **système de levage** dont les constituants sont :

- le moteur de levage,
- le réducteur à engrenages,
- le tambour
- l'ensemble (câble (type de mouflage) + crochet + poulies de renvoie),
- le frein à mâchoires.

Fin de l'énoncé



DÉTAIL A
ECHELLE 1 : 20

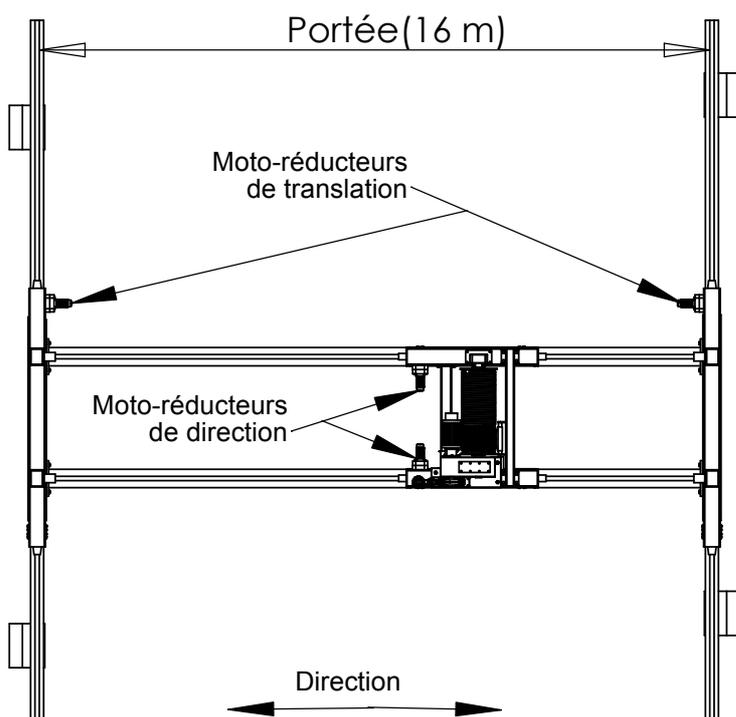
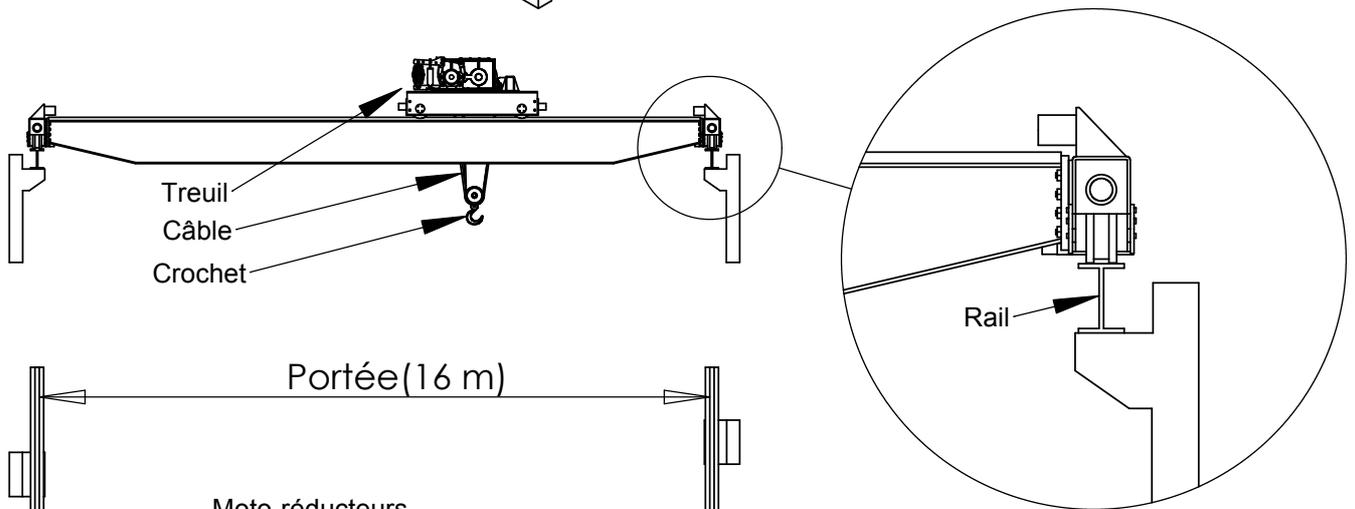


FIGURE 1

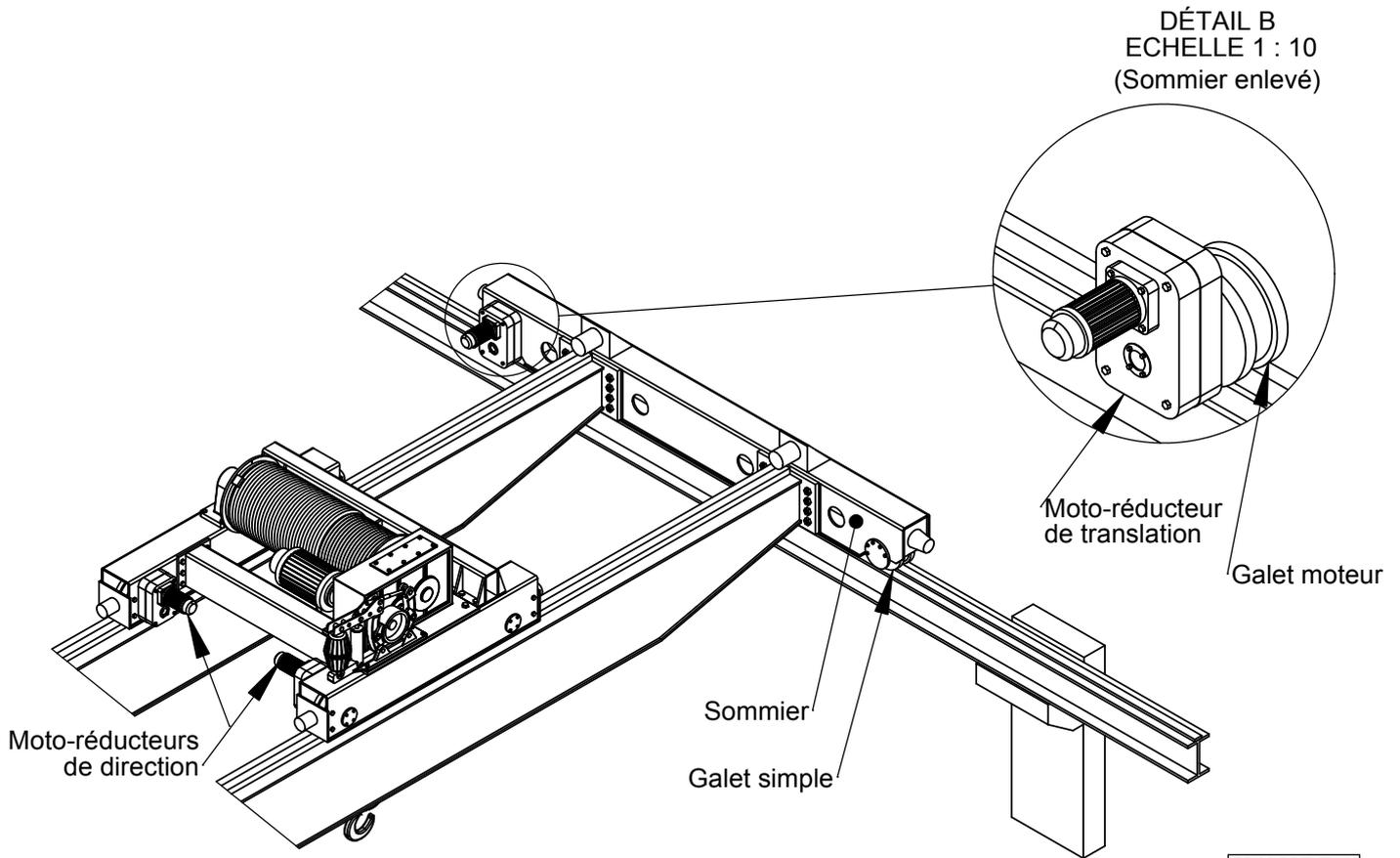


FIGURE 2

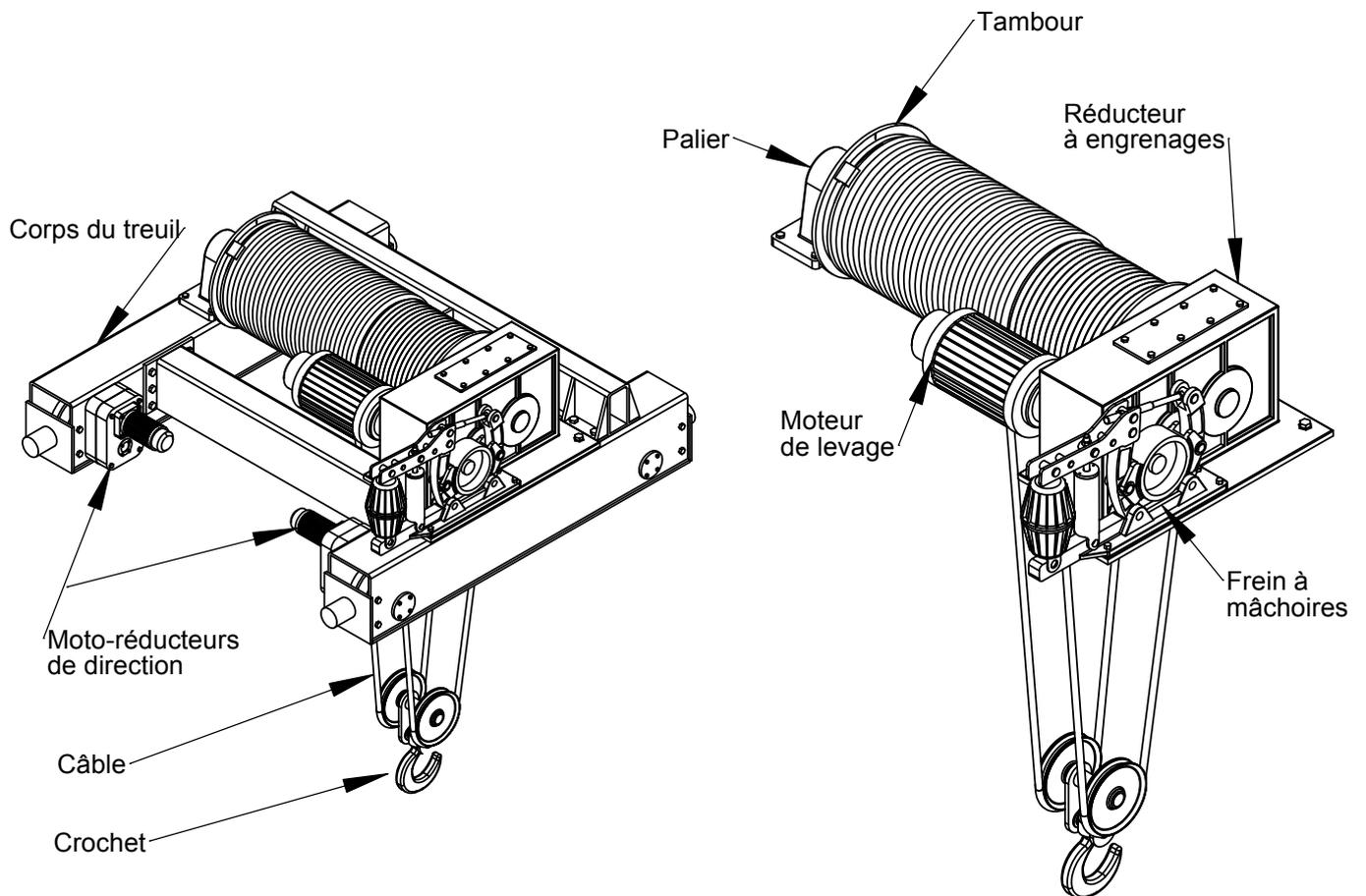


FIGURE 3

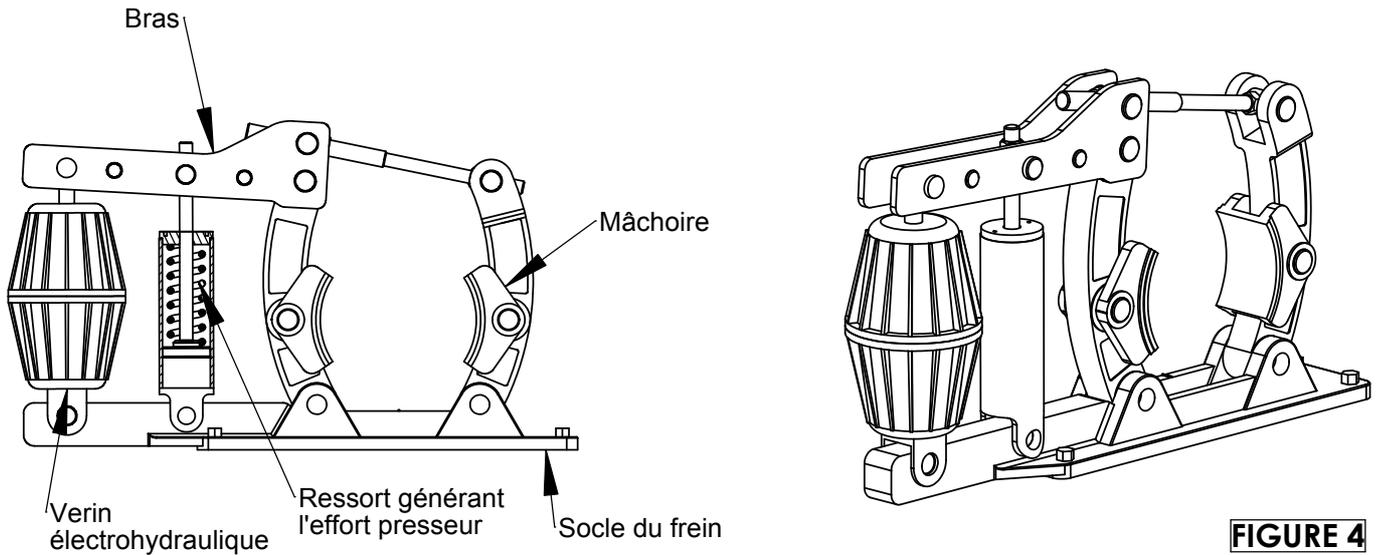


FIGURE 4

MOUFLAGE DU CÂBLE

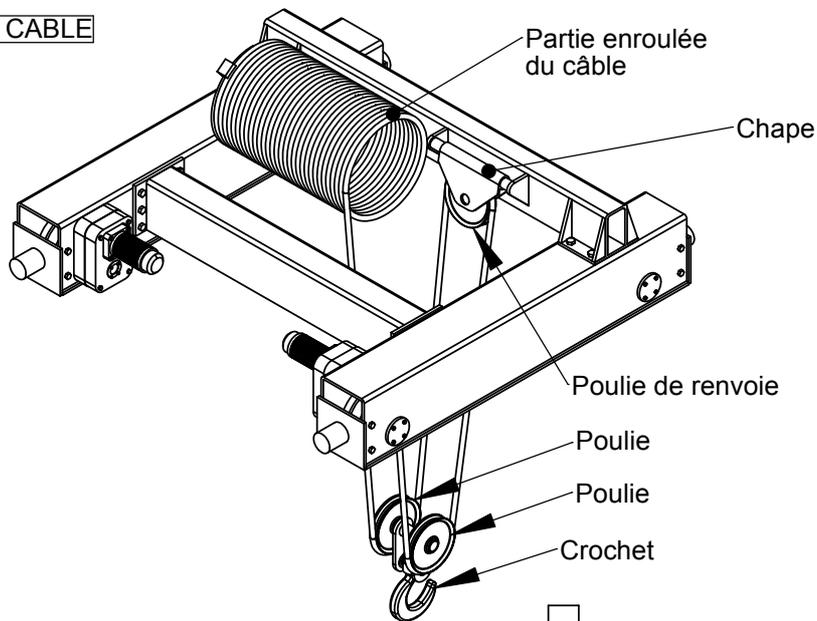
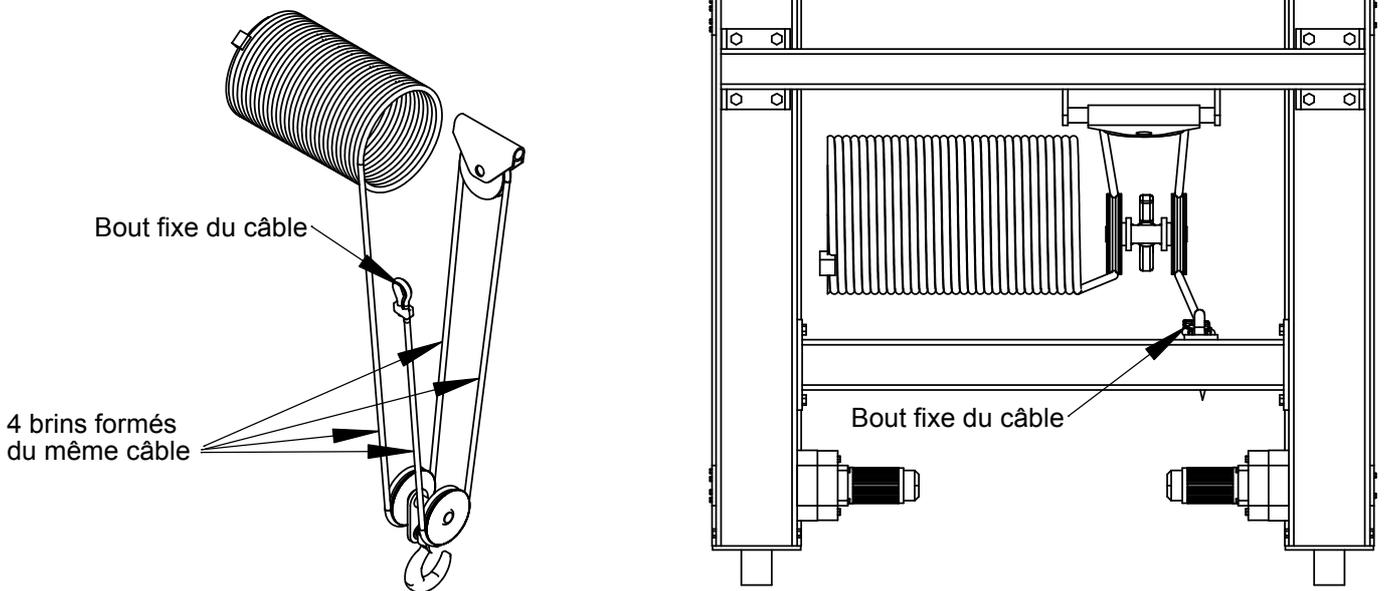
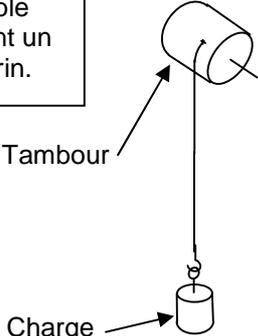
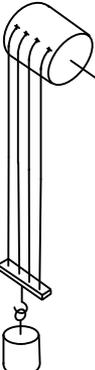
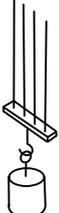
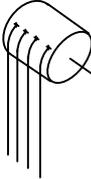
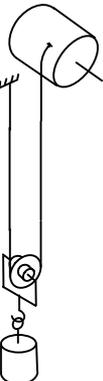
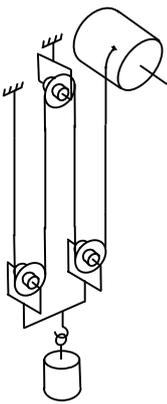
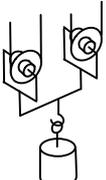
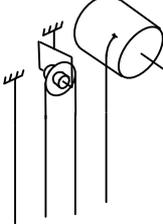


FIGURE 5



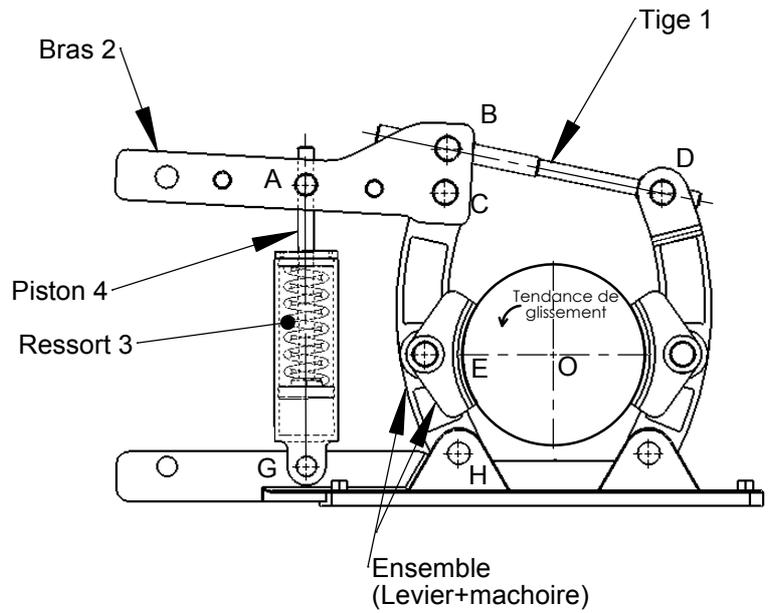
Type de mouflage	Après coupure au niveau des brins		Expressions finales de T et C_t en fonction des données
	Equilibre de la partie inférieure (brièvement)	Equilibre de la partie supérieure (brièvement)	
<p>Un câble formant un seul brin.</p>  <p>Tambour</p> <p>Charge</p>			
<p>Quatre câbles formant quatre brins accrochés tous sur le tambour.</p> 			
<p>Un câble formant deux brins à l'aide de la poulie de renvoie.</p>  <p>Bâti fixe</p>			
<p>Un câble formant quatre brins à l'aide des poulies de renvoie.</p> 			

Principe: Le ressort (3) exerce sur le bras (2) un effort de direction (AG) à travers le piston (4).
Cet effort permet de créer l'effort presseur F en E et par conséquent le couple de freinage .

- Les poids des pièces sont négligés.
- L'action **F** du plateau sur la mâchoire est représentée ci-dessous; elle est appliquée en E et inclinée par rapport à l'horizontale de l'angle de frottement : $\text{tg}(21,80^\circ)=f=0,4$
- Son module est $F=6087,8 \text{ N}$
- L'action du ressort (3) sur le bras (2) est de direction (AG), dirigée de A vers G.

Les liaisons aux points A , B , C , D et H sont des pivots parfaites

Echelle des efforts:
1000 N ----- 1cm



Parallèle à la droite (AG)

