

## SCIE ALTERNATIVE PORTATIVE

Le dessin d'ensemble ci-dessous représente le mécanisme d'une scie alternative portable à commande pneumatique.

Le principe de fonctionnement consiste à transformer un mouvement de rotation continue de l'arbre d'un moteur pneumatique en un mouvement de translation alternative d'une lame de scie (repérée 49).

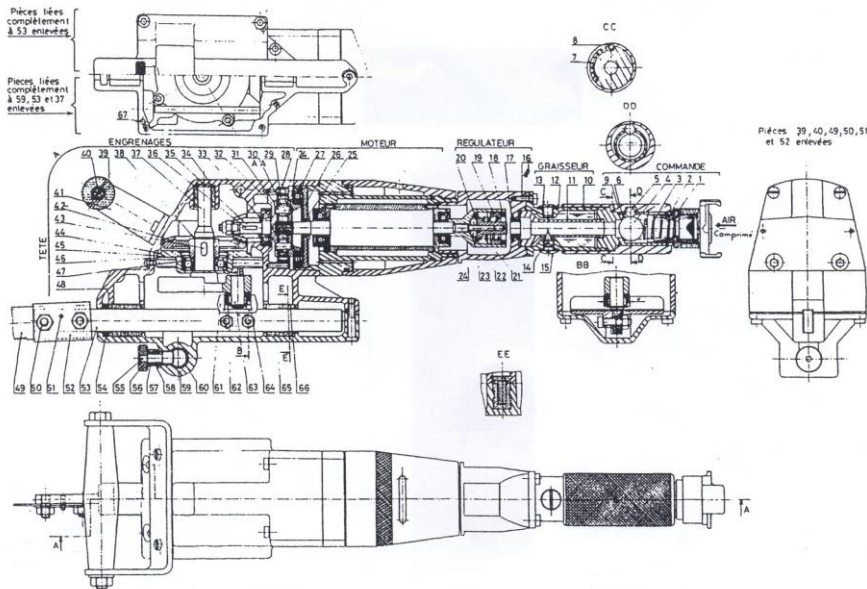


Figure 1 : dessin de définition de la scie alternative portable.

On modélise le mécanisme de transformation de mouvement par le schéma cinématique de la figure 2 :

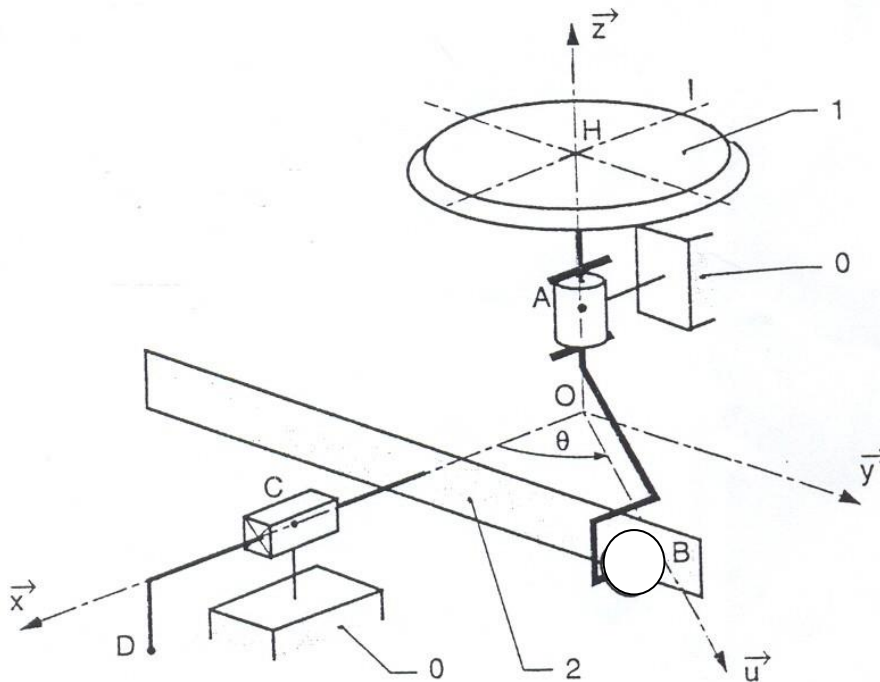


Figure 2 : schéma cinématique du mécanisme de transformation de mouvement de la scie

L'action mécanique appliquée par la pièce à scier sur le coulisseau 2 est représentée par le torseur suivant :

$$\{ext \rightarrow 2\}_D = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}(ext \rightarrow 2) = D_x \vec{x} + D_y \vec{y} + D_z \vec{z} \\ \vec{M}(D, ext \rightarrow 2) = \vec{0} \end{array} \right\}_D$$

L'action mécanique exercée par le pignon moteur sur la roue 1 est représentée par le torseur suivant :

$$\{mot \rightarrow 1\}_I = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}(mot \rightarrow 1) = R \vec{x} + T \vec{y} - A \vec{z} \\ \vec{M}(I, mot \rightarrow 1) = \vec{0} \end{array} \right\}_I$$

Le point I est défini par :  $\vec{HI} = -r \vec{x}$  et  $\vec{OH} = h \vec{z}$

Le point B est défini par :  $\vec{OB} = e \vec{u}$

Le point D est défini par :  $\vec{OD} = -f \vec{z} + d \vec{x}$

L'objet du travail demandé est de déterminer toutes les composantes des actions de liaisons ainsi que les relations liant  $R, T, A$  et  $D_x, D_y$  et  $D_z$ .

**Question 1 :**

Réaliser le graphe de structure du mécanisme schématisé figure 2.

**Question 2 :**

Caractériser les torseurs d'actions transmissibles par les liaisons.

**Question 3 :**

Isoler 1 et traduire son équilibre. En déduire un système de 6 équations.

**Question 4 :**

Isoler 2 et traduire son équilibre. En déduire un système de 6 équations.

**Question 5 :**

En déduire la relation liant  $D_x$  et  $T$ .

**Question 6 :**

En déduire les expressions des inconnues de liaisons  $X_{01}, Y_{01}, Z_{01}, L_{01}$  et  $M_{01}$  en fonction de  $R, T$  et  $A$  et des caractéristiques géométriques du mécanisme.

## SYSTÈME DE LEVAGE À MULTIPLES COLONNES

Les sociétés de transports publics des grandes agglomérations gèrent des réseaux comportant des bus et/ou des tramways. Ces sociétés possèdent des centres de maintenance ayant en charge l'entretien et la réparation de leurs véhicules. Parmi ces véhicules, on peut trouver des tramways de deux types : sur rails ou sur pneus. On s'intéresse ici à la maintenance de tramways sur rails de type TFS (Tramway Français Standard) : voir Annexe 1 photo 1.

Les rames TFS sont dotées d'un plancher bas, à 35 cm au-dessus du sol, sur les 3/4 de leur longueur. Dans le cadre d'une opération de maintenance, il est nécessaire d'intervenir sous le tramway et donc de le soulever entièrement.

**Problématique :** comment soulever une rame de tramway de 45 tonnes et de 30 mètres de long à une hauteur suffisante (de l'ordre de 1m70) pour réaliser la maintenance des boggies et divers matériels se trouvant sous le tramway ?

Le système de levage est constitué d'une armoire de commande (nommée PC) munie d'un pupitre de commande, d'un API (Automate Programmable Industriel), de relais et cartes de commande pour moteurs. Cette PC peut gérer jusqu'à 10 colonnes de levage. Ces colonnes de levage (voir Annexe 1, photos 2 à 6) sont des unités indépendantes mobiles que l'on peut déplacer manuellement grâce à des roues escamotables. Elles sont constituées d'un chariot de levage (voir **Modèle numérique de la colonne** en Annexe 1) guidé par 4 galets roulant à l'intérieur d'une colonne (rails en tôle pliée). L'entraînement du chariot se fait par une vis à filet trapézoïdal (voir Annexe 1 photo 6), mise en rotation par un moto-réducteur-frein asynchrone. On met en place les colonnes au niveau de la plateforme du tramway à soulever, aux endroits prévus à cet effet.

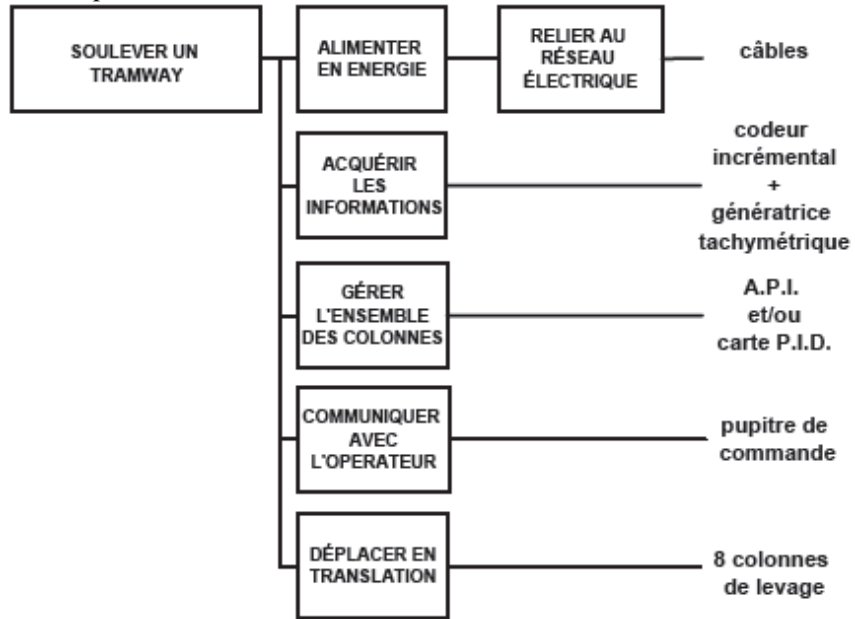
Pour soulever un tramway de 45 tonnes et de 30 mètres de long, le service de maintenance utilise 8 colonnes de levage d'une capacité unitaire maximale de 8,2 tonnes commandées simultanément (voir Annexe 1 photos 2 à 5). Lorsque les colonnes sont en place, on démarre le cycle de levage :

L'opérateur peut choisir un fonctionnement manuel ou automatique. En mode automatique, on affiche sur le pupitre la consigne de hauteur à atteindre, la PC pilote alors chaque moteur des 8 colonnes jusqu'à ce que cette hauteur soit atteinte. Chaque colonne est équipée d'un codeur incrémental informant la PC de la position du chariot de levage de la colonne. Pour un fonctionnement en toute sécurité, il faut assurer une certaine horizontalité du tramway soulevé : l'ensemble des points de levage doit être compris entre deux plans parallèles distants de 20 mm au maximum (coplanarité).

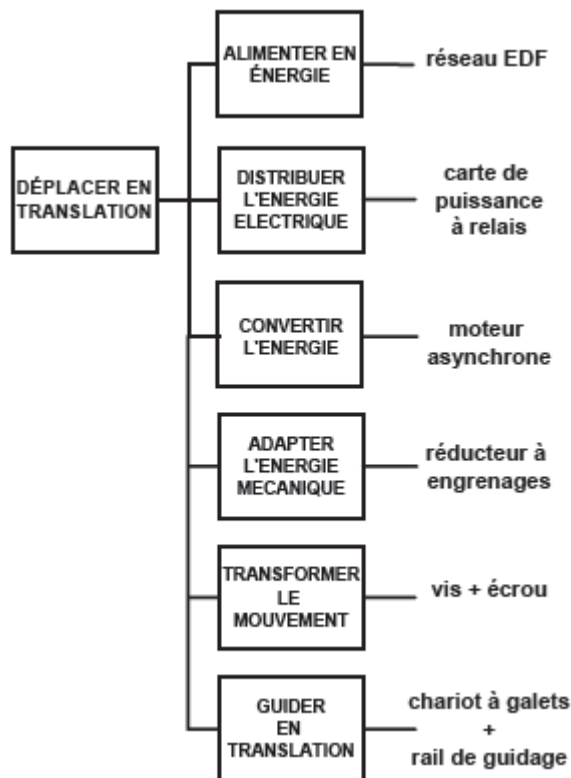
**Cahier des charges fonctionnelles**

	<b><u>CRITÈRES</u></b>	<b><u>NIVEAUX</u></b> <i>Pour UNE colonne</i>
<b>F.P.1 : PERMETTRE À UN OPÉRATEUR DE SOULEVER UN TRAMWAY DU SOL GRÂCE À DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE</b>	HAUTEUR MAXI VITESSE MAXI CHARGE MAXI	1700 mm 10 mm/s 8,2 tonnes
<b>F.C.1 : S'ADAPTER À LA PLATEFORME DU TRAMWAY</b>	COPLANÉITÉ DES POINTS DE LEVAGE SURFACE D'APPUI AU CONTACT DE LA PLATEFORME	Écart maximum de 20 mm  140 x 140 mm <sup>2</sup>
<b>F.C.2 : ÊTRE STABLE MÉCANIQUEMENT</b>	SURFACE D'APPUI AU SOL RÉSISTANCE MÉCANIQUE DU SOL (pression de contact maxi)	2 pieds de 600 x 200 mm <sup>2</sup>  $P_{adm} = 3 \text{ MPa}$
<b>F.C.3 : ÊTRE ALIMENTÉ</b>	TENSION DE PUISSANCE TENSION DE COMMANDE	230 - 400 V alternative, 50 - 60 Hz 24 V continu
<b>F.C.4 : ASSURER LA SÉCURITÉ DE L'OPÉRATEUR</b>	VITESSE DE DESCENTE HORS ÉNERGIE	Nulle

Le développement des moyens associés à la fonction principale F.P.1 (plus simplement écrite « Soulever un tramway ») est donné ci-après :



Le développement des moyens associés à la fonction technique « Déplacer en translation » pour une colonne est donné ci-après :



## A – Vérification de quelques critères de FP1 : soulever un tramway

### A1 - Vérification du critère de charge maximale

**Objectif :** déterminer la valeur de la charge soulevée par chaque colonne.

On rappelle que pour soulever une rame complète de tramway, on utilise 8 colonnes, soit 4 colonnes réparties identiquement de chaque côté du tramway. Le tramway est un véhicule articulé constitué de six éléments (voir Annexe 2, figure 1) ayant des masses différentes. Ainsi, chaque colonne ne soulèvera pas la même charge. L'étude suivante consiste à déterminer la charge soulevée par chaque colonne, donnée essentielle à connaître afin de régler les paramètres de commande de ces unités de levage.

Modèle retenu : (voir la figure 2 de l'annexe 2).

1. Système isolé : tramway complet.
2. Le plan  $(G_3, \vec{x}, \vec{z})$  étant plan de symétrie pour les efforts et la géométrie, on se limite à une étude plane. Le vecteur unitaire  $\vec{y}$  est vers l'arrière du dessin.
3. Les diverses actions mécaniques dues à la pesanteur sont modélisées par des glisseurs de résultantes  $\vec{P}_i = P_i \cdot \vec{z}$  aux centres de gravité  $G_i$  des six éléments différents. On prendra  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .
4. Les actions mécaniques dues aux colonnes de levage sont modélisées par des glisseurs de résultantes  $\vec{F}_i = F_i \cdot \vec{z}$  aux points de levage  $L_1, L_2, L_3$  et  $L_4$ .
5. Les voitures motrices  $V1$  et  $V2$  sont articulées (liaisons sphériques) respectivement aux points  $A1$  et  $A2$  avec la voiture d'articulation centrale  $V3$ .
6. L'action mécanique due à une articulation entre deux voitures  $i$  et  $j$  sera modélisée par un glisseur de résultante  $\vec{R}_{i \rightarrow j}$  au centre de l'articulation.

Données géométriques :

$$\overline{L_1 G_{m1}} \cdot \vec{x} = \overline{G_{m2} L_4} \cdot \vec{x} = 1980 \text{ mm} ; \overline{L_1 G_1} \cdot \vec{x} = \overline{G_2 L_4} \cdot \vec{x} = 5510 \text{ mm} ; \overline{L_1 L_2} \cdot \vec{x} = \overline{L_3 L_4} \cdot \vec{x} = 12505 \text{ mm} ;$$

$$\overline{L_1 A_1} \cdot \vec{x} = \overline{A_2 L_4} \cdot \vec{x} = 13280 \text{ mm} ; \overline{A_1 A_2} \cdot \vec{x} = 3300 \text{ mm} ; \overline{A_1 G_3} \cdot \vec{x} = \overline{A_1 G_{p3}} \cdot \vec{x} = 1650 \text{ mm}$$

**Question 1 :** Proposer un graphe de structure prenant en compte les solides  $\{V1, Bm1\}$ ,  $\{V2, Bm2\}$  et  $\{V3, Bp3\}$  présentant les actions mécaniques extérieures de pesanteur et des colonnes de levages.

**Question 2 :** Rappeler l'énoncé du théorème 2, cas particuliers du PFS pour un solide ou système de solides soumis à 3 glisseurs. Préciser à quel solide ou système de solides on peut appliquer le théorème 2 (on peut utiliser un seul glisseur pour exprimer une somme de glisseurs)

Le plan  $(G_3, \vec{x}, \vec{z})$  étant aussi plan de symétrie pour les efforts et la géométrie, on pourra se limiter à l'étude des deux voitures (avec leurs boggies)  $\{V1, Bm1\}$  et  $\{V3, Bp3\}$ .

**Question 3 :** Après avoir justifié que les actions mécaniques sont représentables par des glisseurs d'axe centraux verticaux (forces verticales), Dessiner sur le document réponse (DR en fin de sujet) les vecteurs représentant les actions mécaniques extérieures (en phase de levage) agissant sur les deux voitures isolées (avec boggies)  $\{V1, Bm1\}$  et  $\{V3, Bp3\}$  en respectant directions et sens.

**Question 4 :** En utilisant l'équation ou les équations de moment(s) utile(s), exprimer les actions mécaniques des colonnes de levage en  $L_1$  et  $L_2$ , en fonction des grandeurs géométriques et des poids des différents éléments du tramway. Calculer ces actions mécaniques. (Chacune de ces actions est supportée identiquement par deux colonnes).

## A2 - Dimensionnement du moteur électrique

**Objectif :** valider le dimensionnement du moteur en vitesse (petite étude cinématique, ne pas y consacrer plus de 15min)

L'objectif est de valider que le moteur proposé correspond aux impératifs de couple et de vitesse imposés par le cahier des charges. Les éléments importants à respecter sont :

- « la masse maximale à soulever est de 6 tonnes, soit 6000 kg, inférieure à la capacité maximale » ;
- « la vitesse de levée doit être de 10 mm/s, soit 0,010 m/s » ;
- « la phase d'accélération ne doit pas excéder 0,5 s ».

Lors de la conception, plusieurs technologies ont été étudiées, que ce soit au niveau de la motorisation ou de la commande.

La solution retenue concernant la chaîne de transmission de puissance est décrite en Annexe 2 sur les figures 5 et 6 qui présentent le modèle d'étude utilisé et certaines données techniques.

Le moteur choisi est un moteur asynchrone de type LS100L, d'une puissance de 2,2 kW, équipé d'un frein FCR J02 (voir Annexe 2, figure 7).

**Question 5 :** Compte tenu du paramétrage, on peut écrire :  $\overrightarrow{\Omega}_{1/0} = \omega_{10} \cdot \overrightarrow{X}_0 = \dot{\theta}_1 \cdot \overrightarrow{X}_0$ .

**a -** Exprimer de manière littérale, en fonction du paramètre  $\dot{\theta}_1$ , et des données concernant les roues dentées et le système vis-écrou, les vecteurs vitesse de rotation  $\overrightarrow{\Omega}_{2/0}$ ,  $\overrightarrow{\Omega}_{3/0}$  et la vitesse de levée  $V_L = \dot{z}_4$ .

Déterminer numériquement les rapports entre les vitesses  $r_{12} = \frac{\omega_{20}}{\omega_{10}}$ ,  $r_{23} = \frac{\omega_{30}}{\omega_{20}}$ ,  $r_{34} = \frac{V_L}{\omega_{30}}$  et

$r_g = \frac{V_L}{\omega_{10}}$  (les vitesses de rotation étant exprimées en rad/s et la vitesse linéaire en m/s).

Quelle que soit la valeur trouvée pour  $r_g$ , la valeur utilisée dans la suite du sujet sera :

$$r_g = 6,36 \times 10^{-5} \text{ m.}$$

**b -** Déterminer la vitesse de rotation du moteur souhaitée (à exprimer en tr/min) conformément au cahier des charges. Conclure en comparant la valeur trouvée avec la vitesse nominale du moteur (voir Annexe 2, figure 7).

## B – Vérification du critère de la F.C.2 : être stable mécaniquement

### B1 - Vérification du critère de non-basculement (stabilité mécanique)

**Objectif :** vérifier le NON-BASCULEMENT d'une colonne dans le plan yOz.

La stabilité mécanique de la colonne doit être assurée, quelle que soit la charge à soulever, afin de respecter la fonction complémentaire F.C.2.

Le modèle retenu pour cette étude est le suivant : (voir Annexe 2, figures 3 et 4).

1. Système isolé : colonne entière.
2. Le plan yOz est plan de symétrie pour les efforts et la géométrie.
3. Le poids des éléments de la colonne est négligé par rapport à la charge à soulever.

4. L'action de contact sol/colonne est modélisée par une répartition de pression  $q(y)$  variant linéairement entre  $q_1$  et  $q_2$  pour  $y \in [e, e + L]$ , et restant uniforme selon  $x$ , comme indiqué sur les figures 3 et 4. L'unité de  $q(y)$  est le MPa.

5. La charge à soulever est modélisée par un glisseur  $\overrightarrow{F_{T \rightarrow C}}$  dont le support passe par le point P situé à la distance  $d$  de l'axe Oz de la vis du chariot.

**Question 6 :** Déterminer, sans faire de calcul mais en vous appuyant sur l'équation de moment issue du PFS appliqué à la colonne, les 2 valeurs extrêmes  $d_{\min}$  et  $d_{\max}$  que peut prendre la distance  $d$ , garantissant le non basculement de la colonne dans le plan  $yOz$ .

## B2 - Vérification du critère de pression maximale au sol

**Objectif :** vérifier le critère  $P_{adm}$  de non-dépassement de la résistance mécanique du sol.

Données géométriques :  $L = 600 \text{ mm}$  ;  $b = 200 \text{ mm}$  ;  $e = 100 \text{ mm}$

Charge à soulever :  $F_{T \rightarrow C} = 60\,000 \text{ N}$

**Question 7 :** Exprimer le torseur en H de l'action de la charge à soulever sur la colonne.

**Question 8 :** Exprimer la fonction de répartition de pression  $q(y)$ .

On considère le cas particulier  $q_1 = q_2 = q$  avec  $d = e + \frac{L}{2}$ .

**Question 9 :** Exprimer la résultante du torseur des actions mécaniques de contact sol/colonne en fonction de partition de  $L$ ,  $b$  et  $q$ .

**Question 10 :** En déduire l'expression de  $q$ . Faire l'application numérique. Conclure.

On considère le cas particulier  $d = e + \frac{2}{3}L = 500 \text{ mm}$ .

**Question 11 :** Exprimer la résultante du torseur des actions mécaniques de contact sol/colonne en fonction de partition de  $L$ ,  $b$ ,  $q_1$  et  $q_2$ .

**Question 12 :** Exprimer le moment en H de ces actions. On utilisera les valeurs numériques des dimensions fournies pour éviter les expressions littérales trop lourdes.

**Question 13 :** Isoler la colonne, lui appliquer le PFS en H et en déduire un système de 2 équations à 2 inconnues  $q_1$  et  $q_2$ .

**Question 14 :** En déduire les expressions de  $q_1$  et  $q_2$ . Faire l'application numérique. Conclure.

## ANNEXES

### Annexe 1 : Photos 1 à 6

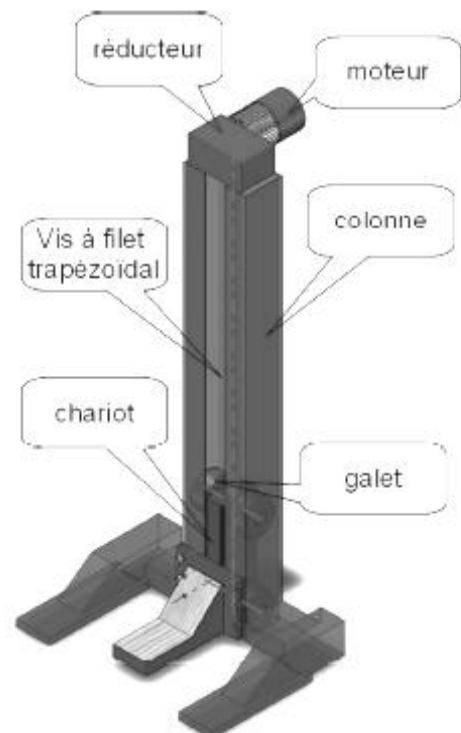


Photo 1 : TFS = Tramway Français Standard

*Photo Legrand - Wikipédia*



Photo 2 : Colonne de levage



Modèle numérique de la colonne



Photo 3 : Mise en place d'une colonne



Photo 4 : Colonne d'extrémité en phase de levage



Photo 5 : Tramway en position soulevée



Photo 6 : Vis d'entraînement



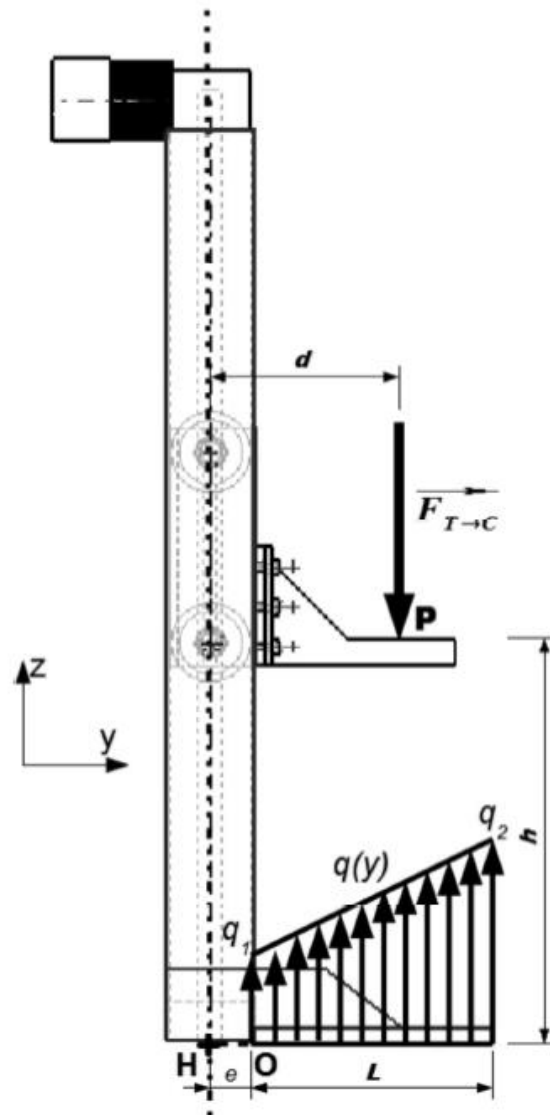


Figure 3 : Modélisation pour l'étude du basculement

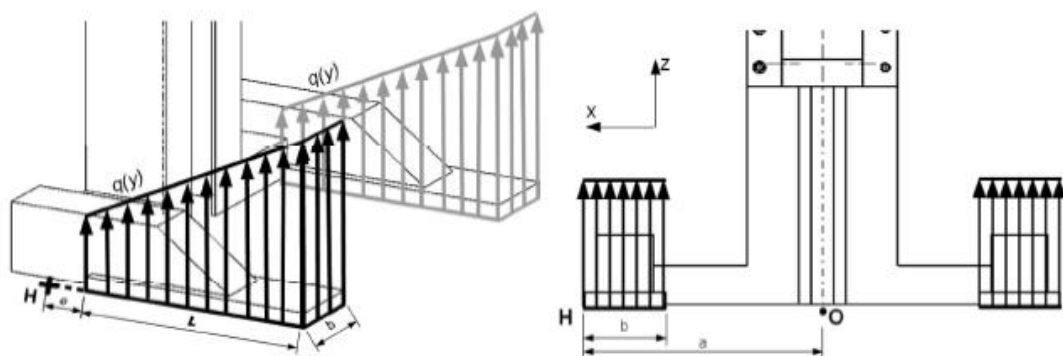
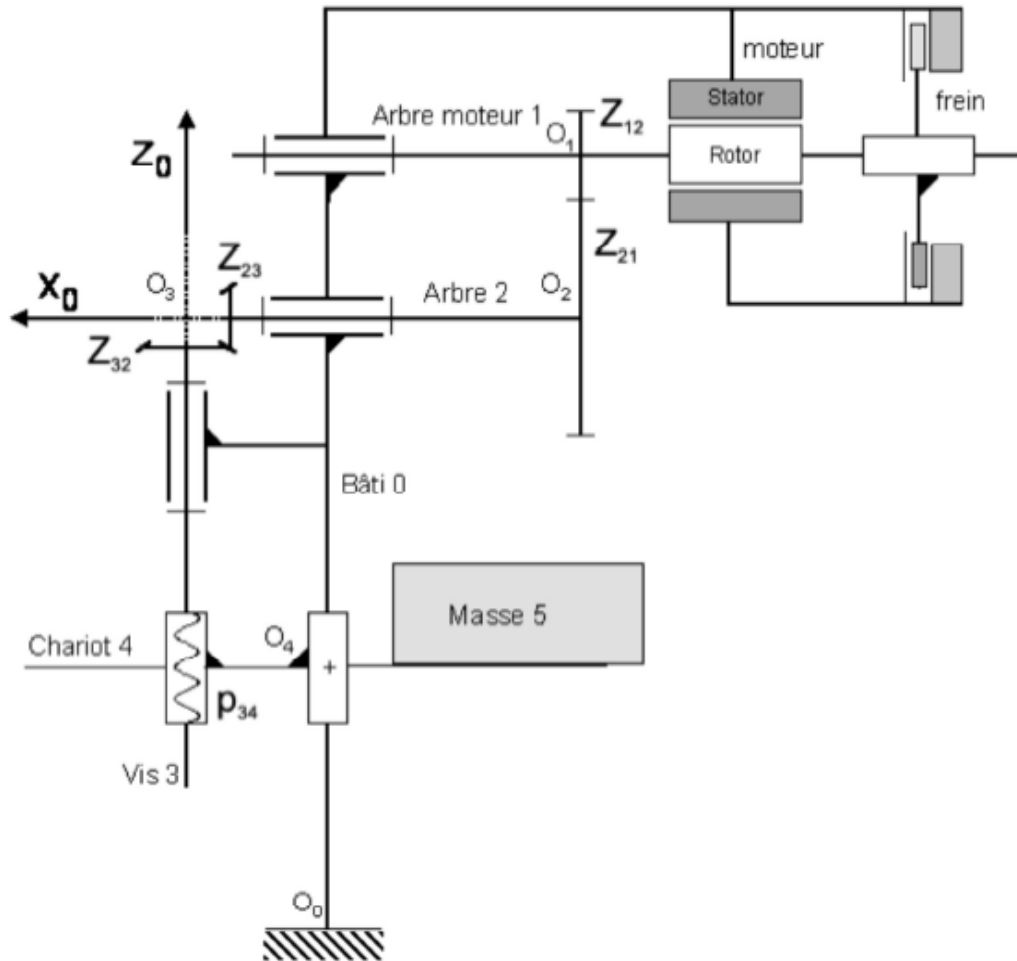
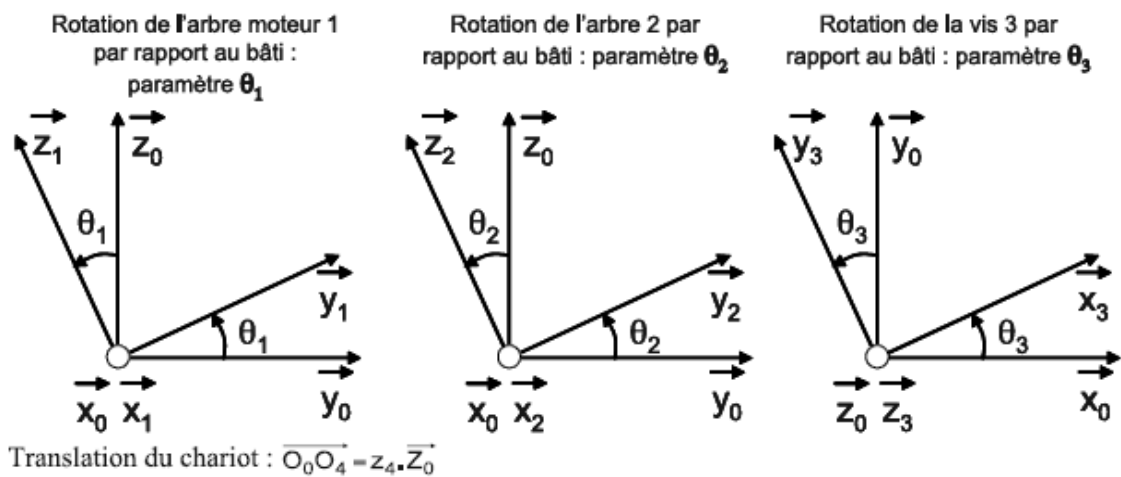


Figure 4 : Modélisation pour le calcul de la pression de contact



**Actions exercées par le moteur :** Actions exercées par le stator sur le rotor modélisées par le couple  $C_m$

**Paramètres associés aux mouvements :**



**Figure 5 : Modélisation cinématique**

**Données sur les liaisons :**a) Liaison  $L_{12}$ Pignon de l'arbre 1 engrenant avec l'arbre 2 : nombre de dents  $Z_{12} = 15$ Roue de l'arbre 2 engrenant avec l'arbre 1 : nombre de dents  $Z_{21} = 75$ 

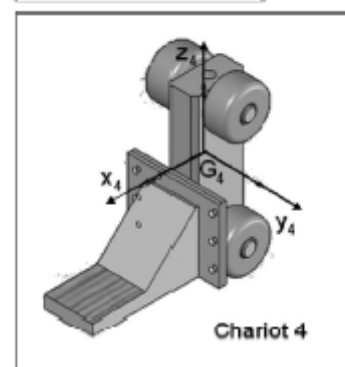
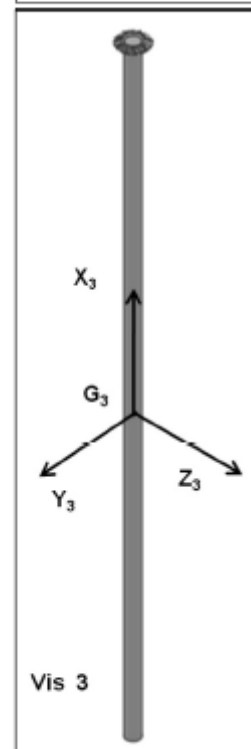
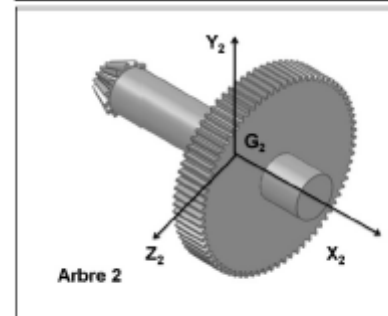
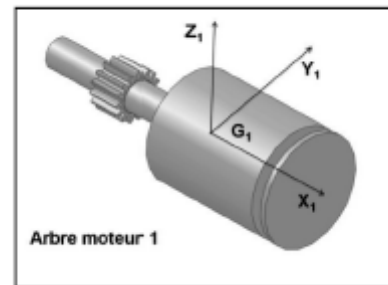
R

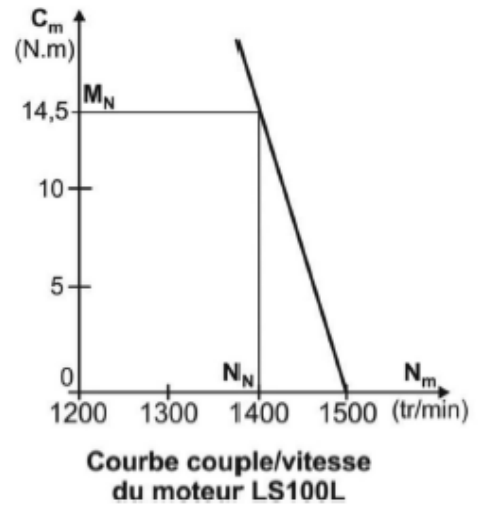
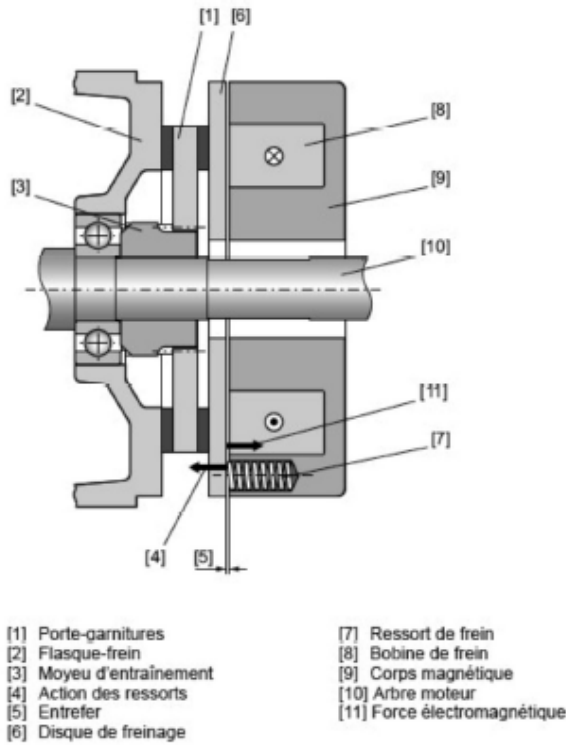
b) Liaison  $L_{23}$ Pignon de l'arbre 2 engrenant avec la vis 3 : nombre de dents  $Z_{23} = 14$ Roue de la vis 3 engrenant avec l'arbre 2 : nombre de dents  $Z_{32} = 35$ 

Re

c) Liaison  $L_{34}$ Pas du système vis-écrou :  $p_{34} = 5$  mmRendement  $\eta_{34} = 0,4$ 

d) Autres liaisons parfaites





Type moteur	Type frein	P <sub>N</sub> kW	N <sub>N</sub> min <sup>-1</sup>	M <sub>N</sub> N.m	I <sub>N</sub> A	Cos 100%	η 100%	I <sub>D</sub> /I <sub>N</sub>	M <sub>D</sub> /M <sub>N</sub>	J 10 <sup>-3</sup> kg.m <sup>2</sup>	M <sub>f</sub> N.m	Masse IM B5	
												J01 à J03 kg	Type moteur
LS80L	FCRJ02	0,55	1370	3,5	1,64	0,71	68	3,8	2,9	3,8	10	15,5	LS80L
LS80L	FCRJ02	0,75	1370	5,12	2	0,77	70	4,2	2,7	4,3	10	16,6	LS80L
LS90L	FCRJ02	1,1	1360	7,35	2,8	0,8	70	3,9	1,9	7,3	20	20,5	LS90L
LS90L	FCRJ02	1,5	1380	10,03	3,8	0,78	73,5	4,4	2,3	7,9	20	22,5	LS90L
LS90L	FCRJ02	1,8	1400	11,95	4,2	0,81	77,3	5,4	2,7	8,4	20	24,2	LS90L
<b>LS100L</b>	<b>FCRJ02</b>	<b>2,2</b>	<b>1400</b>	<b>14,5</b>	<b>5,4</b>	<b>0,77</b>	<b>76</b>	<b>5,3</b>	<b>2,5</b>	<b>9</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	<b>LS100L</b>
LS100L	FCRJ02	3	1410	19,5	7,1	0,77	79	5,4	2,7	10,2	32	30	LS100L
LS160LR	FCRJ02	15	1450	98	27,8	0,88	87	7,4	3,1	63	160	101	LS160LR

Figure 7 : Caractéristiques du moteur frein

# Document Réponse DR

