

L'ascenseur du pilier nord de la tour Eiffel

(centrale TSI 2013)

Contexte

La tour Eiffel est actuellement le monument payant le plus visité au monde avec plus de six millions de visiteurs par an. En plus des mille six cent soixante-cinq marches d'escalier, la tour Eiffel est actuellement desservie par six ascenseurs et un monte-charge. Les parcours annuels cumulés des ascenseurs sont, d'après le site officiel de la tour Eiffel, équivalents à deux fois et demie le tour de la Terre, soit plus de 103 000 km.



Figure 1 : chariot tracteur supportant les deux cabines de l'ascenseur du pilier nord de la tour Eiffel

Parmi les ascenseurs accessibles aux visiteurs de la tour Eiffel, l'ascenseur électrique du pilier nord offre la plus grande capacité avec cent dix personnes qui sont réparties dans deux cabines supportées par un chariot tracteur (voir **figure 1**).

L'ascenseur du pilier nord est constitué :

– voir **figure 1**

- d'un chariot tracteur sur lequel sont fixées les deux cabines destinées à transporter les visiteurs ;

– voir **annexe 1**

- de deux ensembles de deux câbles en acier situés de part et d'autre du chariot ;

- de deux poulies réceptrices ;

- de deux poulies motrices qui entraînent les câbles (la masse d'une poulie est de 4280 kg) ;

- d'un contrepoids de 45 tonnes (45 103 kg) qui évolue entre le rez-de-chaussée et le premier étage, avec une inclinaison de 54° ;

- d'un système de mouflage qui réduit par quatre la distance parcourue par le contrepoids ;

– voir **figure 2**

- d'un vérin électrique d'iso-nivelage qui corrige la variation de longueur des câbles lors de la montée et de la descente des visiteurs par une rotation de plus ou moins 5° de l'ensemble réducteur et machine à courant continu.

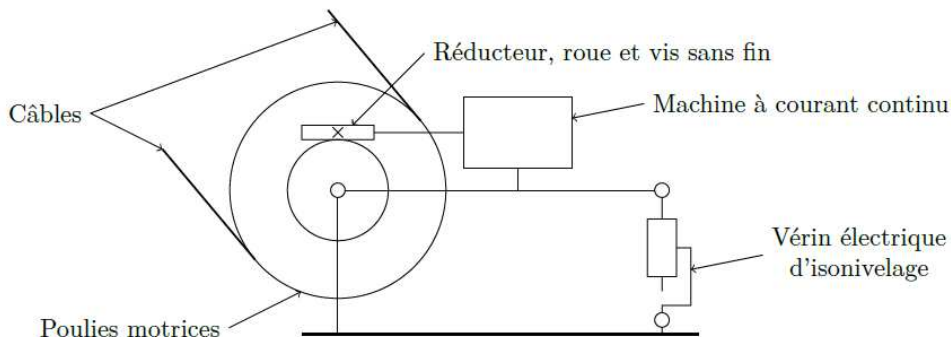


Figure 2 : vérin électrique d'iso-nivelage

Assurer la sécurité et le confort des passagers

Objectif : Vérifier la résistance statique des câbles puis valider que la rotation, de plus ou moins 5° de l'ensemble réducteur et machine à courant continu, permet de rattraper la variation de longueur des câbles.

Lorsque le chariot est à un étage, la variation de poids exercé par l'ensemble des visiteurs, lors de la montée ou de la descente des cabines, engendre des variations de longueur non négligeables des câbles. Un vérin d'iso-nivelage, entraîné par une machine asynchrone triphasée, permet de compenser cette variation de longueur des câbles. Il permet une rotation de plus ou moins 5° de l'ensemble réducteur et machine à courant continu, autour de l'axe des poulies motrices (**figure 2**).

Le chariot tracteur est soutenu par quatre câbles.

Hypothèses :

- les quatre câbles ont une tension identique ;
- la résistance au glissement entre le chariot tracteur et les rails est négligée.

Données :

- masse du chariot tracteur $M_c = 12750 \text{ kg}$;
- masse des cent dix passagers $M_p = 8250 \text{ kg}$;
- accélération de la pesanteur $g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ kg.

L'action mécanique des câbles sur le chariot est modélisé par le torseur statique suivant :

$$\{T(\text{cables} \rightarrow \text{chariot})\}_A = \left\{ \begin{array}{c} 4 \cdot T \cdot \vec{y} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_A$$

L'action mécanique des rails sur le chariot est modélisé par le torseur statique suivant :

$$\{T(\text{rails} \rightarrow \text{chariot})\}_C = \left\{ \begin{array}{c} 2 \cdot N \cdot \vec{x} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_C$$

Q 1. Ecrire le torseur statique modélisant l'action de la pesanteur sur l'ensemble (passagers ; chariot) dans la base $B_0 = (\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ puis $B = (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$.

Q 2. En isolant le chariot et en écrivant l'équation adéquate du PFS, calculer la tension T dans chacun des câbles quand le chariot se situe au deuxième étage en fonction de M_p , M_c , g et α .

Q 3. Calculer la variation de cette tension ΔT quand les cent dix passagers quittent les cabines.

Le câble est assimilé à une poutre homogène. L'acier utilisé pour le câble a une limite d'élasticité $R_e = 355 \text{ MPa}$. On considère la section utile d'un câble $S_u = 536 \text{ mm}^2$.

Q 4. Calculer la contrainte normale à l'intérieur d'un câble.

Q 5. Conclure quant à la résistance des câbles.

Le module d'Young de l'acier utilisé pour les câbles est $E = 125000 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$. La longueur d'un câble est $L_c = 360 \text{ m}$.

Q 6. Calculer l'allongement du câble quand les passagers montent dans les cabines.

Les poulies motrices ont un diamètre $D = 2.764 \text{ m}$.

Q 7. Vérifier que la rotation de 5° de l'ensemble réducteur et machine à courant continu par le vérin d'iso-nivelage est suffisante.

ANNEXE 1

