

Dynamique : Escalier roulant (CCP MP 14)

Un escalier mécanique, appelé aussi escalier roulant ou Escalator, est un élévateur adapté au transport de personnes.

Sa fonction principale est de faciliter le déplacement des piétons entre deux points de différentes hauteurs.



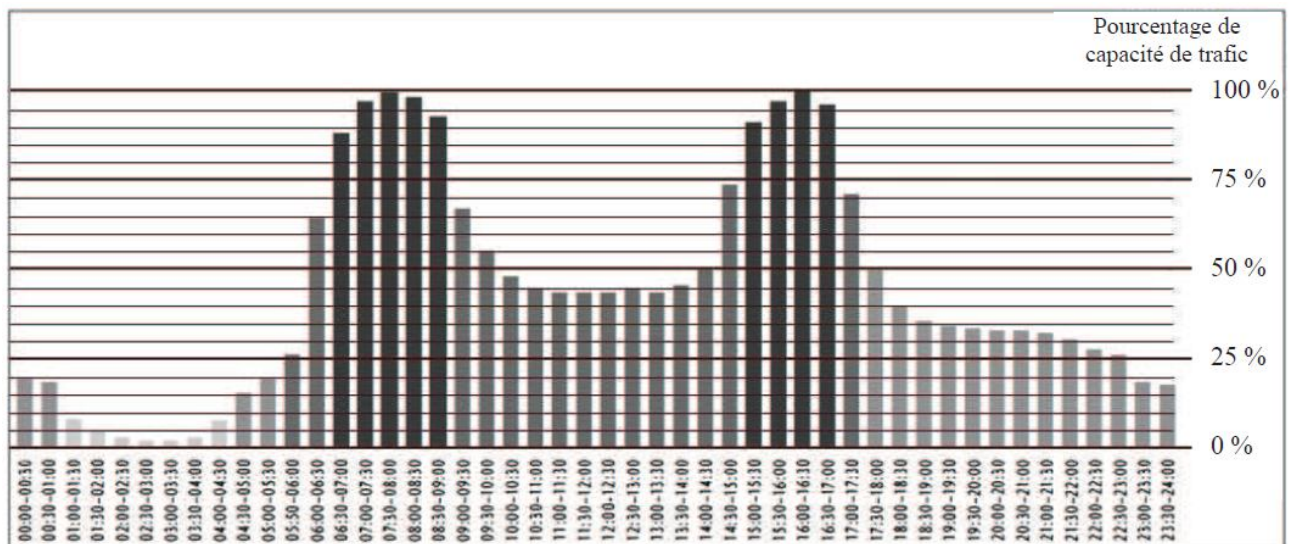
OPTIMISATION DE LA GESTION ENERGETIQUE

Objectif : Gagner un minimum de 2 % d'énergie sur le fonctionnement journalier.

Contexte : L'étude porte sur un escalier mécanique d'une station de métro fonctionnant 24 heures par jour, 7 jours par semaine et 365 jours par an.

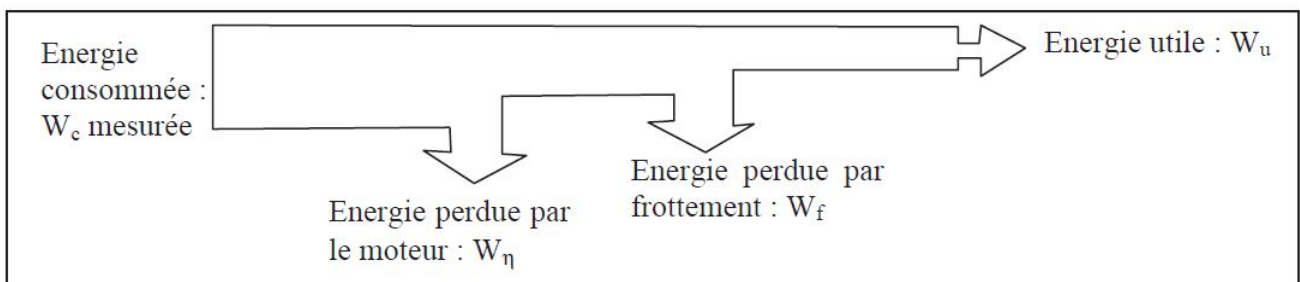
Si l'escalier fonctionnait à pleine charge pendant les 24 h, sa capacité de trafic serait de 175 200 personnes par jour.

En réalité, au cours de ses 24 heures de fonctionnement quotidien, sa charge en passagers varie comme le montre la figure suivante.



Cela nous ramène à une charge moyenne de 44 % soit 77 000 personnes par jour.

Calcul de l'énergie consommée en fonctionnement continu (régime permanent)



Les données de l'étude sont précisées dans la figure suivante.

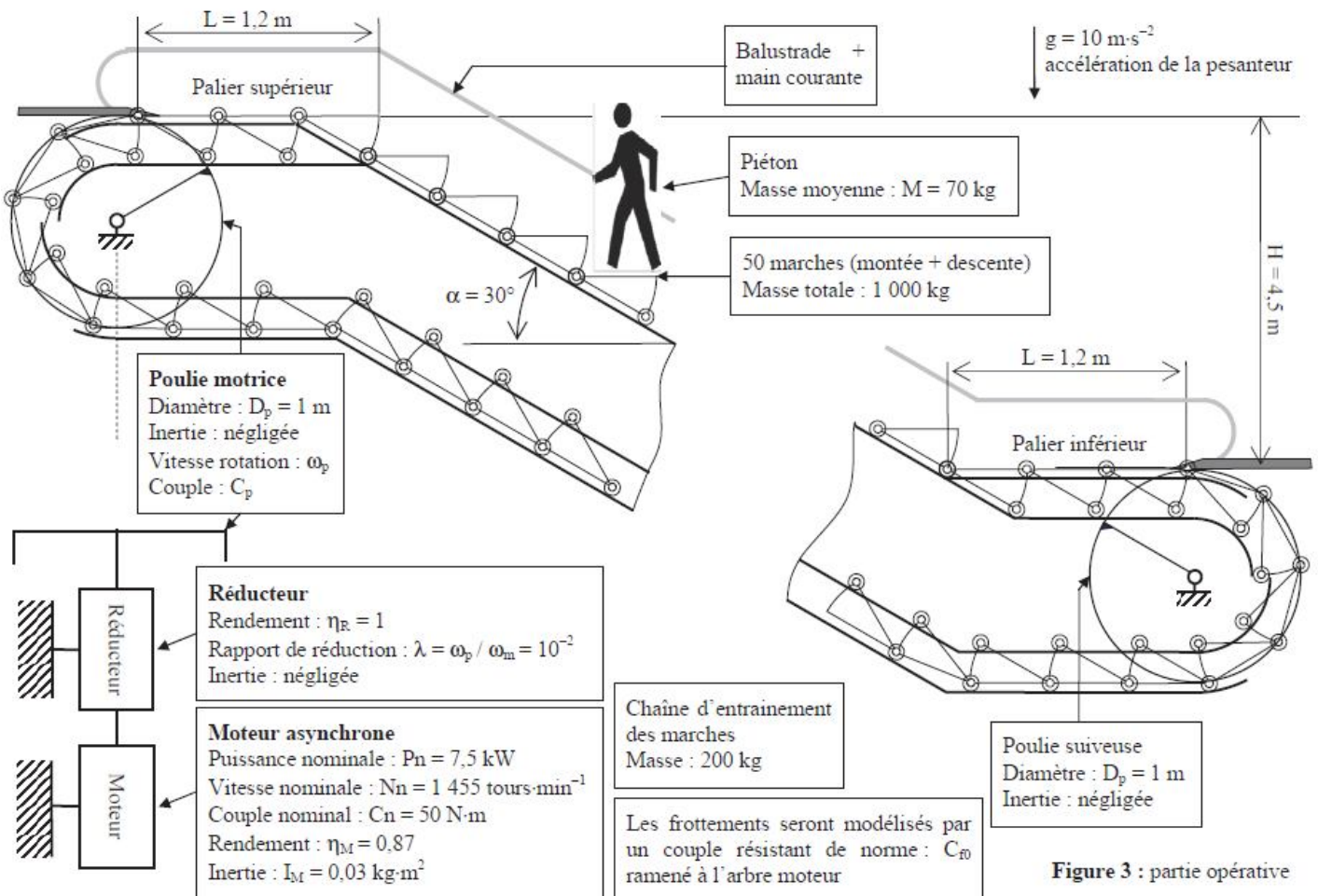


Figure 3 : partie opérative

Questions

1. Calculer l'énergie quotidiennement utile (W_u) à l'élévation de 4,5 m des 77 000 piétons.

L'énergie W_c , mesurée sur une journée à l'aide d'un analyseur d'énergie, est de $343 \cdot 10^6 \text{ J}$.

2. Calculer l'énergie quotidiennement perdue par le moteur (W_η).

3. En déduire l'énergie quotidiennement perdue par frottement (W_f).

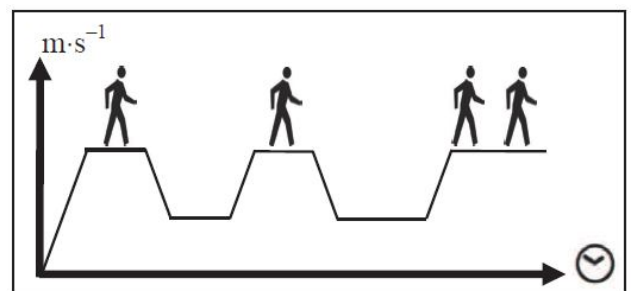
4. Exprimer la puissance, supposée constante, perdue par frottement (P_f). En déduire la valeur du couple de frottement ramené à l'arbre moteur (C_{fm}) en considérant que le moteur tourne à la vitesse nominale $N_n = 1\,240 \text{ tours}\cdot\text{min}^{-1}$.

On prendra $C_{fm} = 5 \text{ Nm}$ pour la suite du sujet.

Mode de fonctionnement avec « Vitesse de veille »

Ce mode de fonctionnement permet de réduire la vitesse de l'escalier lorsqu'aucun passager ne se trouve sur les marches (passage d'une vitesse de $0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à une vitesse de veille de $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Une analyse plus fine de la fréquentation quotidienne a montré que l'escalier n'était pas utilisé sur une durée cumulée de 5 h.



Calcul de l'économie d'énergie en mode veille

Lorsque l'escalier fonctionne à vide (aucun piéton) : $W_c = W_\eta + W_f$

Rappel : diamètre poulie motrice : $D_p = 1 \text{ m}$, rapport de réduction du réducteur $\lambda = 10^{-2}$.

Question

- Calculer la différence d'énergie consommée (ΔW_1) sur une durée de 5 h entre le mode continu et le mode veille lorsqu'aucun piéton n'emprunte l'escalier.
Le critère « gain en énergie » du cahier des charges est-il validé ?

AMELIORATION DE LA SECURITE

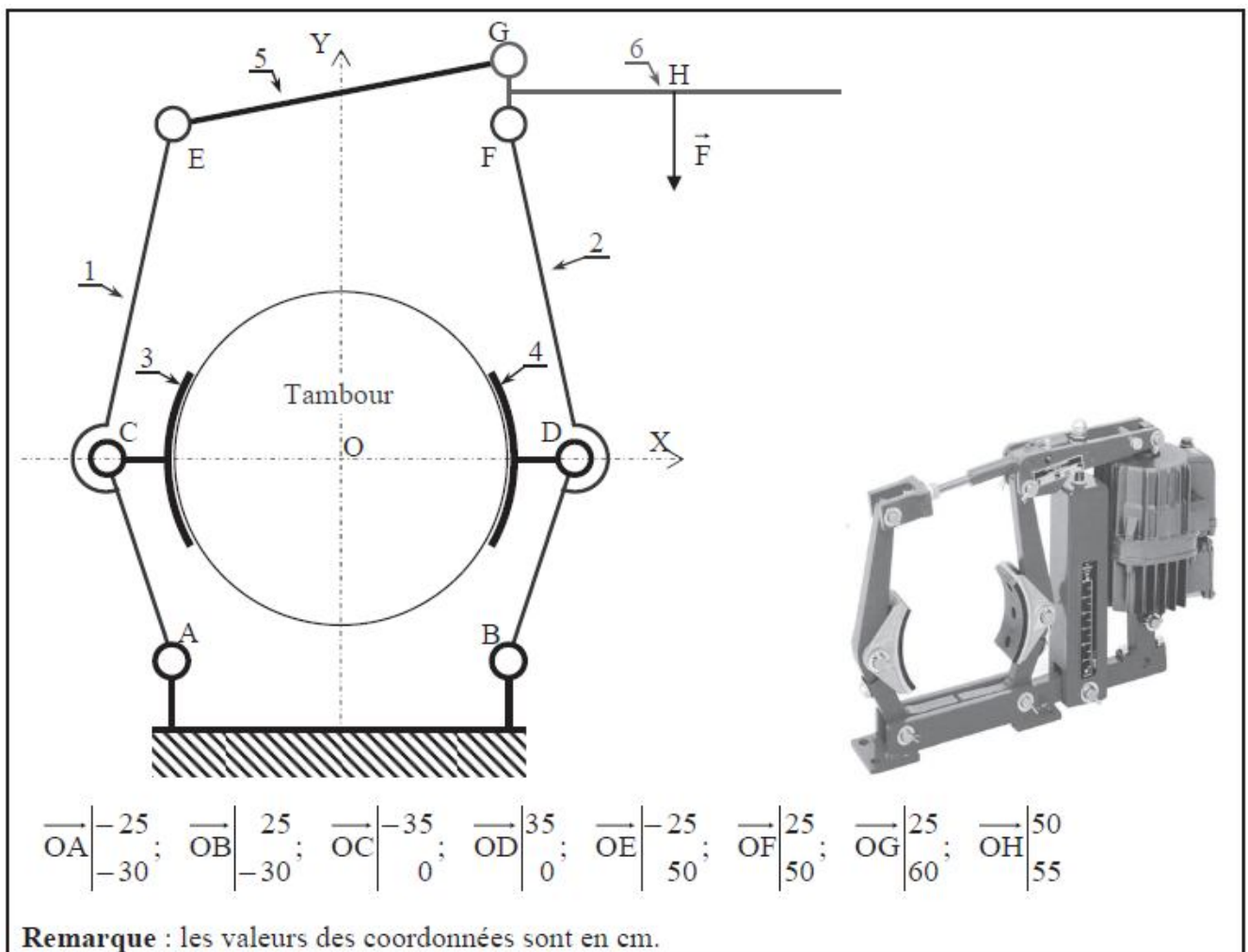
Objectif : Contrôler le freinage afin d'assurer la sécurité des passagers.

Contexte : Un système de freinage d'urgence doit atteindre deux exigences contradictoires:

- ✓ Limiter le déplacement des marches en cas de coincement.
- ✓ Limiter la décélération pour éviter la chute de passagers.

C'est le dilemme auquel sont confrontés les concepteurs du système de freinage.

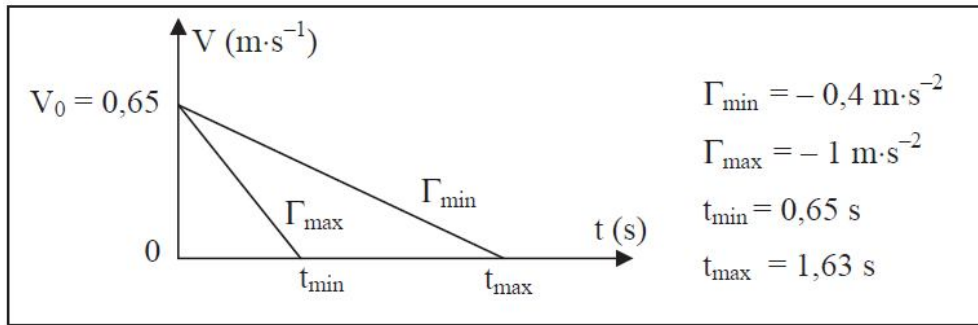
Le schéma cinématique montre l'architecture du système de freinage de la poulie motrice.



L'action de commande est modélisée par le torseur :

$$\{T_{commande \rightarrow 6}\} = \begin{matrix} \vec{F} = -F \cdot \vec{y} \\ \vec{0} \end{matrix} \text{ avec } F \in \mathbb{R}^+$$

La figure suivante donne le profil de vitesse à respecter lors d'un freinage d'urgence



Calcul du couple de freinage

On se place dans le cas le plus défavorable : pleine charge (27 personnes sur la partie inclinée + 3 personnes au niveau de chaque palier) avec déplacement vers le bas à la vitesse $V_0 = 0,65 \text{ m.s}^{-1}$.

Hypothèses de travail :

- ✓ L'énergie cinétique liée à la rotation des marches et de la chaîne autour des poulies est négligée devant l'énergie cinétique liée à la translation de ces éléments.
- ✓ Le moteur ne participe pas à l'action de freinage.

Questions

6. En utilisant le théorème de l'énergie cinétique appliqué à l'ensemble $E = \{\text{escalier mécanique} + \text{passagers}\}$, déterminer la relation entre le couple de freinage ramené à l'arbre moteur C_m , et l'accélération des marches Γ .

En déduire les valeurs minimale C_{fmin} et maximale C_{fmax} du couple de freinage (supposé constant durant le freinage d'urgence) compatibles avec les valeurs d'accélération de la figure 16.

Si on suppose que la pression de contact entre les mâchoires (3 et 4) et le tambour est uniforme, on peut modéliser les actions de freinage par les torseurs suivants :

$$\{T_{3 \rightarrow \text{tambour}}\} = \begin{matrix} C \\ \vec{0} \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} X_3 \cdot (\vec{x} + f \cdot \vec{y}) \\ \vec{0} \end{matrix} \right\} ; \{T_{4 \rightarrow \text{tambour}}\} = \begin{matrix} D \\ \vec{0} \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} X_4 \cdot (\vec{x} + f \cdot \vec{y}) \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}$$

avec $(X_3, X_4) \in \mathbb{R}^2$ et $f = 0,4$ (coefficient de frottement).

Questions

7. En précisant votre démarche de résolution (choix des systèmes isolés et des équations à développer), déterminer numériquement le rapport : $\frac{X_4}{F}$.

8. Une étude similaire sur la mâchoire 3 nous donne : $\frac{X_3}{F} = -\frac{100}{17}$. Donner une relation liant le couple de freinage C_{frem} et les composantes X_3 et X_4 . En déduire les valeurs F_{min} , et F_{max} , de l'action de commande F compatibles avec les couples C_{fmin} et C_{fmax} .