Concours Commun INP (CCINP), France

Session 2014, filière MP

Sciences industrielles

Durée : 3 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : présentation
- Partie II : optimisation de la gestion énergétique
- Partie III : réglage des paramètres d'asservissement
- Partie IV : amélioration de la sécurité

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/ccinp/mp/2014/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

CONCOURS COMMUNS POLYTECHNIQUES

EPREUVE SPECIFIQUE - FILIERE MP

SCIENCES INDUSTRIELLES

Durée : 3 heures

N.B. : Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. 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.

Les calculatrices sont autorisées

Le sujet complet comporte 17 pages dont :

- 14 pages de texte de présentation et énoncé du sujet,
- 3 pages de documents réponses **à rendre obligatoirement avec la copie.**

Toute documentation autre que celle fournie est interdite.

REMARQUES PRELIMINAIRES

- Il est conseillé d'utiliser des feuilles de papier brouillon afin de mettre au point les développements mathématiques, schémas, graphes et courbes, avant de les recopier au propre sur la copie à rendre.
- Il est demandé au candidat de bien vouloir inscrire les résultats et les développements nécessaires aux différentes questions sur sa copie, **en précisant bien le numéro de la question traitée et, si possible, dans l'ordre des questions.** Les résultats attendus seront obligatoirement encadrés.

ESCALIER MECANIQUE : OPTIMISATION DE LA GESTION ENERGETIQUE ET DE LA SECURITE

Partie I : PRESENTATION

Un escalier mécanique (**figure 1**), appelé aussi escalier roulant ou Escalator (nom déposé par la société Otis), est un élévateur adapté au transport de personnes. Sa fonction principale est de faciliter le déplacement des piétons entre deux points de différentes hauteurs.

Depuis son invention en 1892 (à New York) par l'américain Jesse W. Reno, le système n'a pas cessé d'évoluer pour s'adapter aux nouvelles contraintes économiques, environnementales et sécuritaires.

Aujourd'hui, dans les centres commerciaux, les aéroports, les gares ferroviaires, les stations de métro et autres bâtiments du monde entier, des escaliers mécaniques transportent silencieusement, efficacement et en toute sécurité un nombre considérable de personnes.

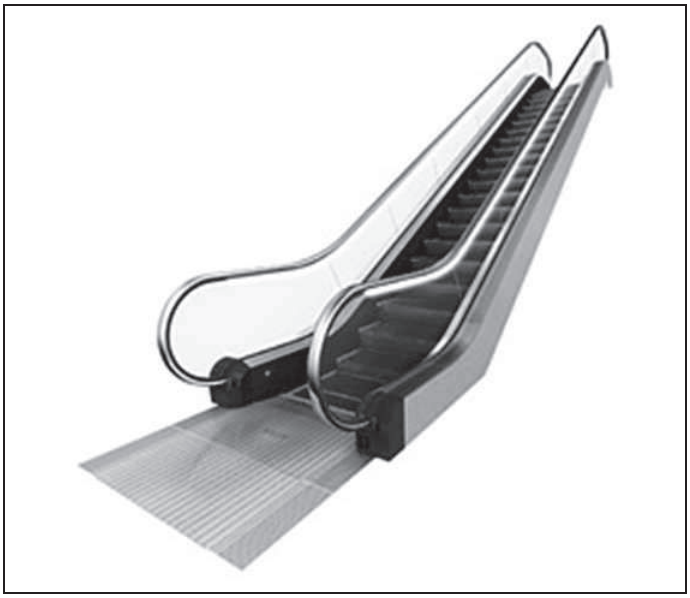


Figure 1 : escalier mécanique

L'objectif de cette épreuve est de montrer comment les constructeurs réussissent à optimiser la dépense énergétique ainsi que la sécurité tout en conservant le caractère confortable du système. Les fonctions de service FS1, FS2 et FS3 sont définies dans l'extrait du cahier des charges illustré par le **tableau 1**, page 3.

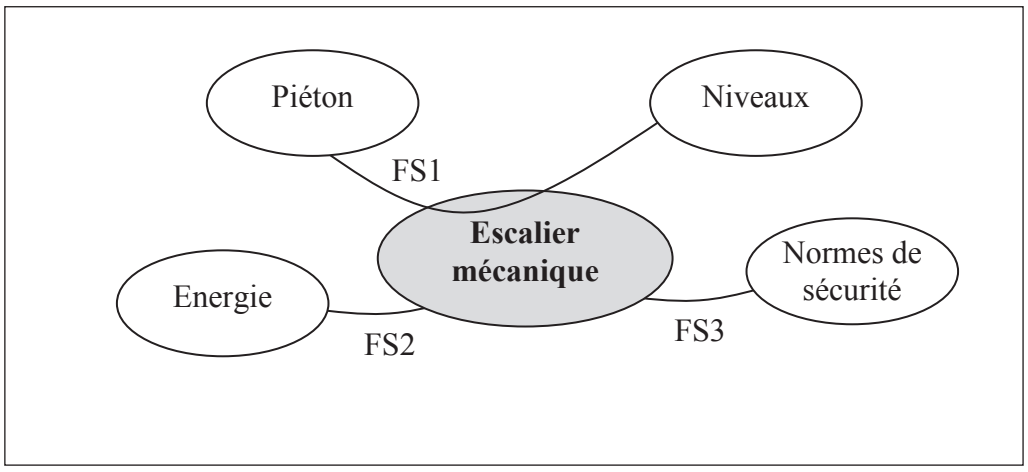


Figure 2 : diagramme des interracteurs (phase de vie utilisation)

Fonctions de service	Critères	Valeurs
FS1 : transporter les piétons entre deux niveaux	Vitesse de déplacement	0,65 $m \cdot s^{-1}$
	Capacité horaire	7 300 personnes / heure maximum
	Inclinaison	30°
	Dénivelé	4,5 m
	Rapidité de l'asservissement de vitesse	Temps de stabilisation à 5 % de la vitesse finale = 3 s maximum (avec consigne en trapèze de vitesse)
	Amortissement de l'asservissement de vitesse	Dépassement transitoire de la vitesse finale = 20 % maximum
	Stabilité de l'asservissement de vitesse	Marge de phase = 45° minimum
	Précision de l'asservissement de vitesse	Insensible aux variations de charge en régime permanent
	Facteur de confort	≥ 6 (sur figure 12 page 10)
FS2 : optimiser la gestion de l'énergie	Gain en énergie par rapport au fonctionnement continu	2 % minimum
FS3 : assurer la sécurité des piétons dans le cas d'un freinage d'urgence	Distance d'arrêt	600 mm maximum (sans charge)
	Décélération	$-1\ m \cdot s^{-2}$ maximum
	Variation de la distance d'arrêt en fonction de la charge	35 % maximum

Tableau 1 : extrait du cahier des charges

Le sujet comporte 4 parties :

- la présentation ;
- l'optimisation de la gestion de l'énergie ;
- le réglage des paramètres d'asservissement;
- l'amélioration de la sécurité.

Pour optimiser la gestion de l'énergie, vous allez successivement modéliser les pertes d'énergie par frottement puis calculer le gain énergétique en modifiant la loi de vitesse de commande de l'escalier.

Vous aller ensuite régler des paramètres d'asservissement qui permettent de valider les critères de la fonction de service FS1 du cahier des charges.

Pour améliorer la sécurité dans le cas d'un freinage d'urgence, il faut trouver un compromis entre le confort, la distance d'arrêt ainsi que la décélération maximale pour ne pas tomber. Pour cela, il faut contrôler le freinage. Dans la quatrième partie du sujet vous allez établir une relation entre l'effort de freinage et l'évolution de la décélération. Cette relation permet d'élaborer la commande du frein.

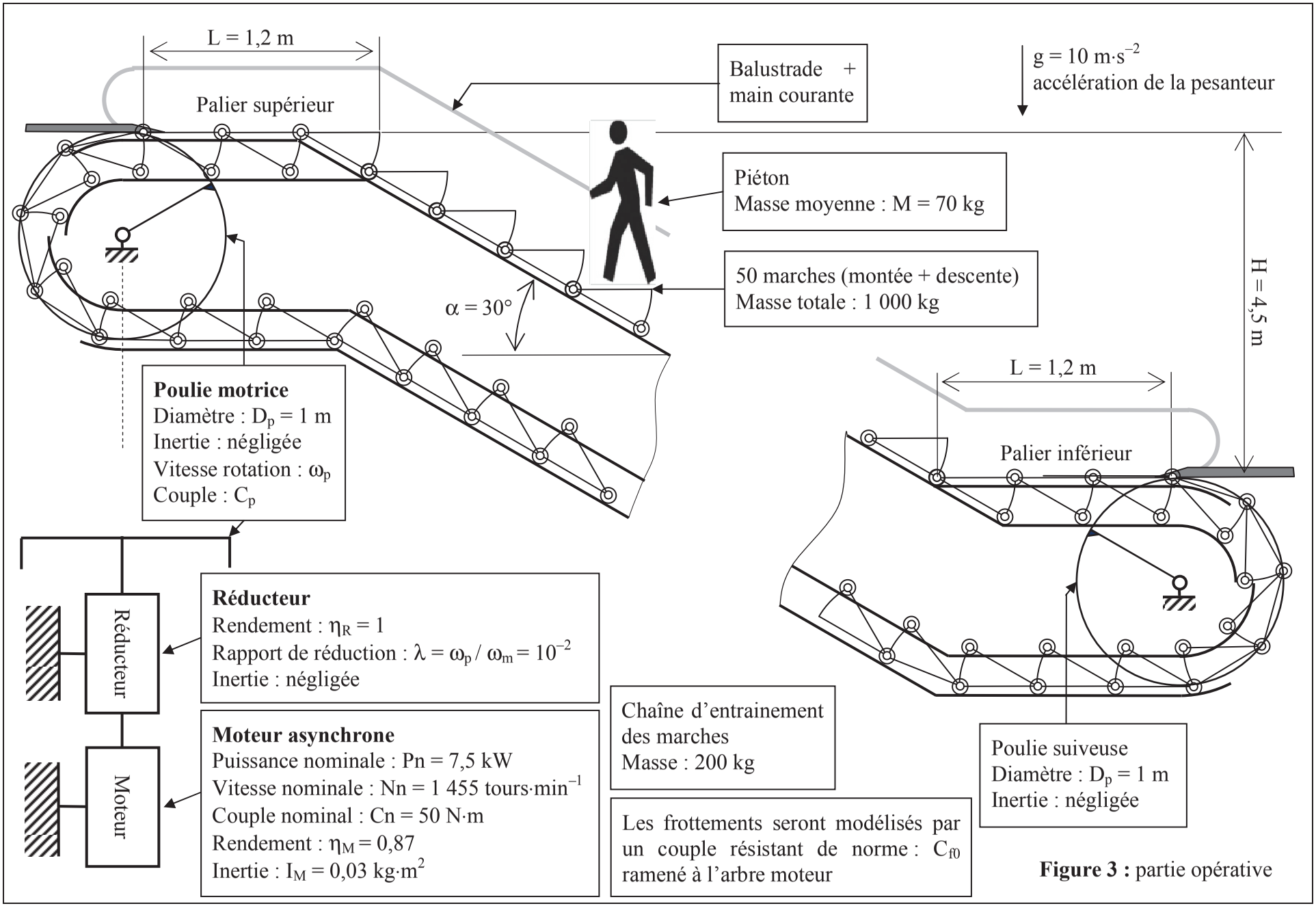


Figure 3 : partie opérative

I.1. La partie opérative de l'escalier mécanique est décrite sur la **figure 3**, page 4. Préciser la nature des énergies (E1, E2 et E3) ainsi que les éléments de structure (M1, M2 et M3) de la chaîne fonctionnelle **figure 4**.

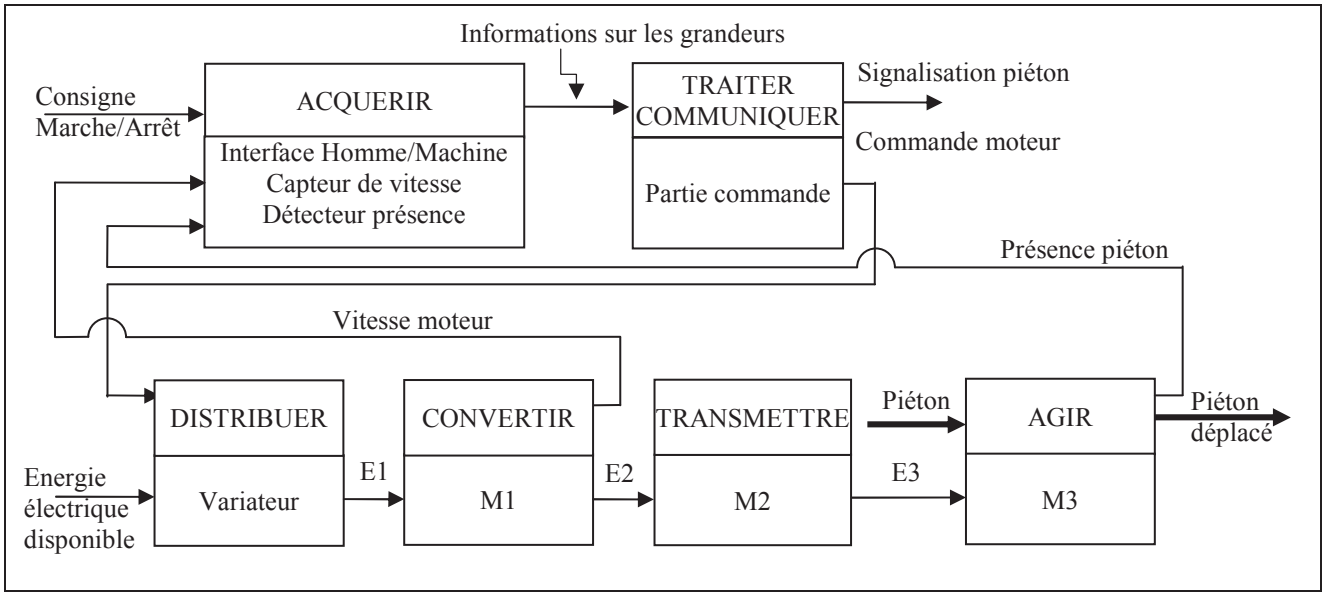


Figure 4 : chaîne fonctionnelle de l'escalier mécanique

Partie II : OPTIMISATION DE LA GESTION ENERGETIQUE

Objectif : gagner un minimum de 2 % d'énergie sur le fonctionnement journalier (fonction de service FS2).

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 5**.

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

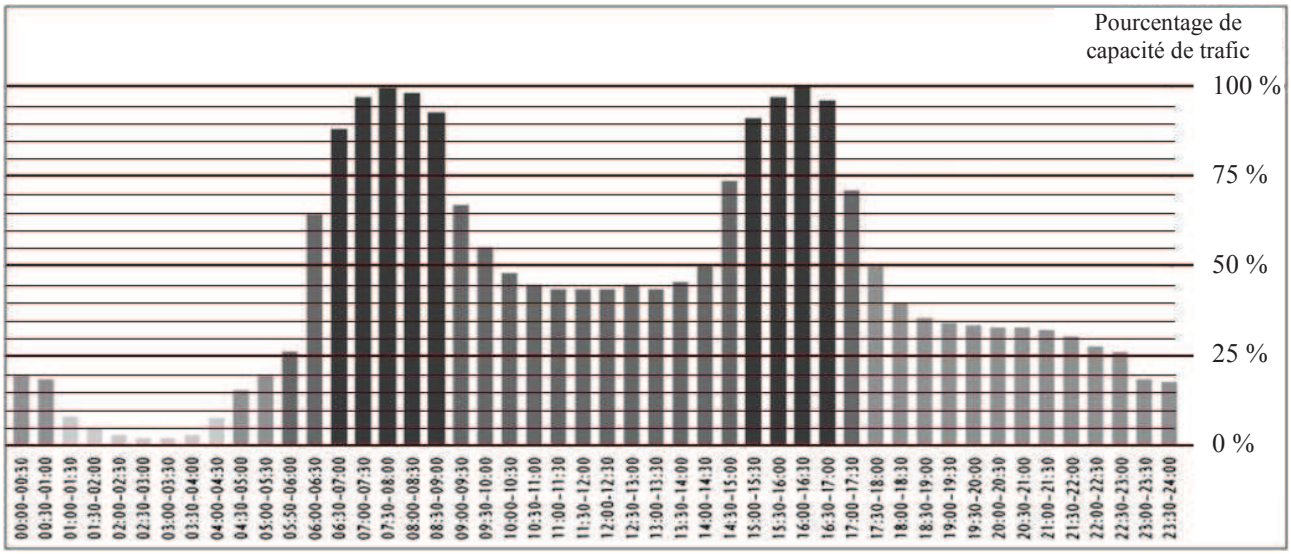


Figure 5 : flux de personnes dans une station de métro ouverte 24 h/24

Les données de l'étude sont précisées dans le **tableau 1**, page 3 et sur la **figure 3**, page 4.

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

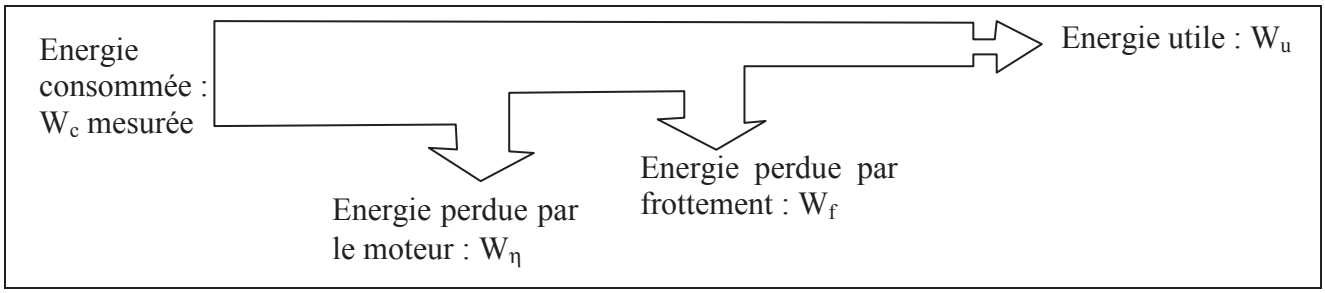


Figure 6 : flux d'énergie

II.2. 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 343.10^6 J.

II.3. Calculer l'énergie quotidiennement perdue par le moteur (W_η).

II.4. En déduire l'énergie quotidiennement perdue par frottement (W_f).

II.5. Exprimer la puissance, supposée constante, perdue par frottement (P_f). En déduire la valeur du couple de frottement ramené à l'arbre moteur (C_{f0}) en considérant que le moteur tourne à la vitesse nominale Nn = 1 240 tours·min^{-1}.

On prendra C_{f0} = 5 N·m 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 nominale de 0,65 m·s^{-1} à une vitesse de veille de 0,2 m·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.

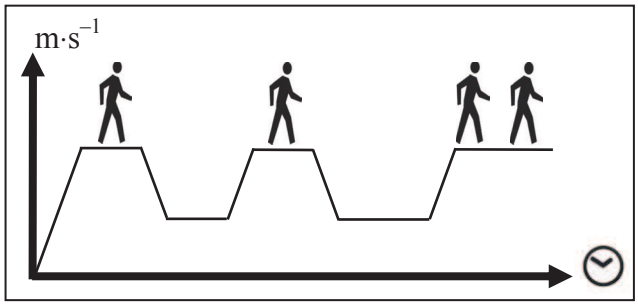


Figure 7 : vitesse de veille

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 m ; rapport de réduction du réducteur : $\lambda = 10^{-2}$.

II.6. Calculer la différence d'énergie consommée ($\Delta W1$) 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 ?

Prise en compte de cette solution dans la commande du moteur

Fonctionnement normal avec mode veille (voir grafcet, **figure 8**)

- L'unité est prête à fonctionner lorsque le gérant de l'installation bascule l'interrupteur bistable Marche/Arrêt sur la position Marche.
- Lorsqu'un piéton est détecté au niveau d'un palier (entrée ou sortie) par les détecteurs Pe ou Ps, l'unité accélère (consigne Ac) jusqu'à la vitesse nominale ($V = 0{,}65\ m{\cdot}s^{-1}$).

Remarque : la mise en marche par une détection en sortie a pour but d'indiquer au piéton qu'il n'emprunte pas l'escalier dans le bon sens.

- Si aucun piéton n'est détecté en entrée dans un délai de T_1 s, l'unité passe en mode veille (consigne Dc) jusqu'à la vitesse de veille ($V = 0{,}2\ m{\cdot}s^{-1}$).

Remarque : l'information du détecteur Ps n'est pas prise en considération pour le passage du mode veille au mode normal et inversement.

- Lorsqu'un piéton est à nouveau détecté au niveau de l'entrée par le détecteur Pe, l'unité accélère jusqu'à la vitesse nominale ($V = 0{,}65\ m{\cdot}s^{-1}$).
- La prise en compte d'un arrêt (en basculant l'interrupteur Marche / Arrêt sur Arrêt) n'est possible que durant une phase de veille.

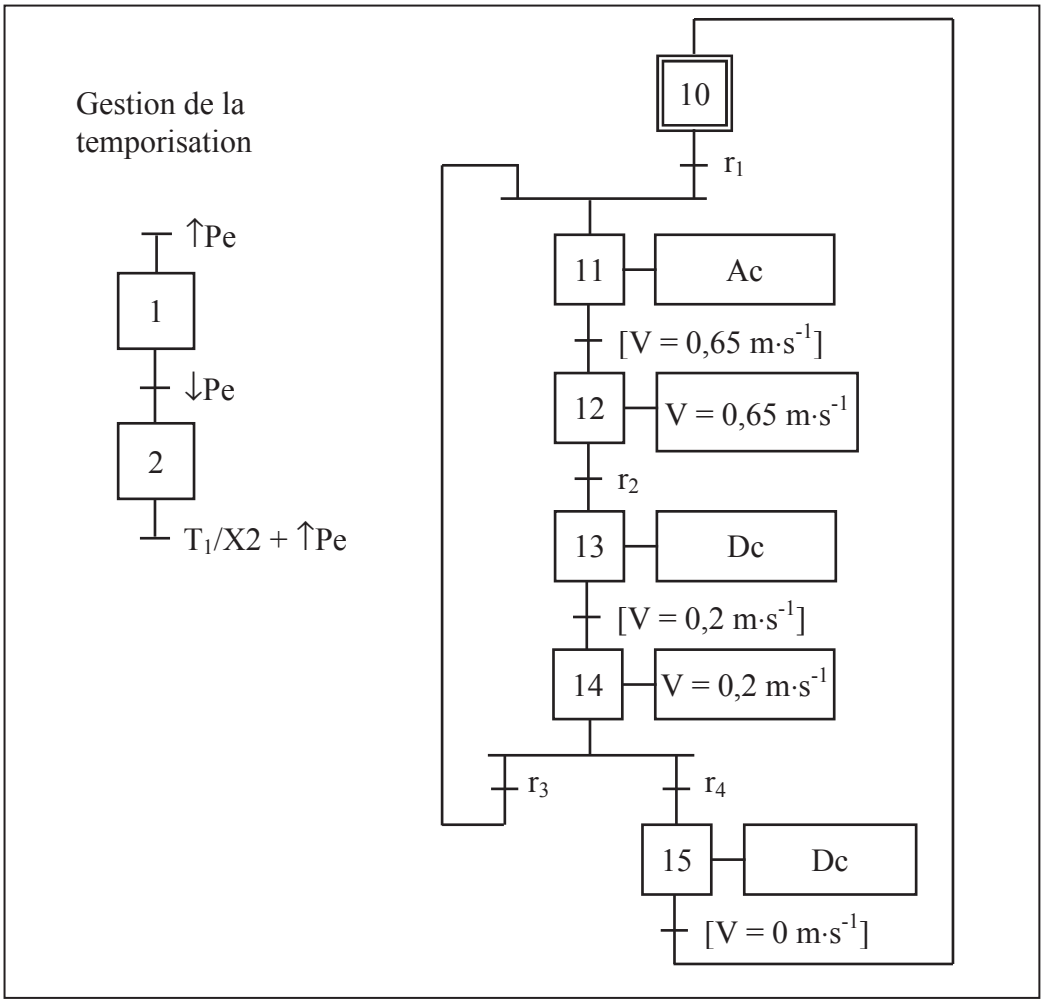


Figure 8 : grafcet de fonctionnement normal

II.7. Déterminer les réceptivités r1, r2, r3 et r4.

Fonctionnement normal avec mode veille et démarrage automatique

Durant les « périodes creuses » (de 1 h à 4 h 30), l'escalier est très peu utilisé.

Il peut être économiquement intéressant de l'arrêter si aucun piéton ne se présente dans un délai T2 à partir de l'activation de la phase de veille.

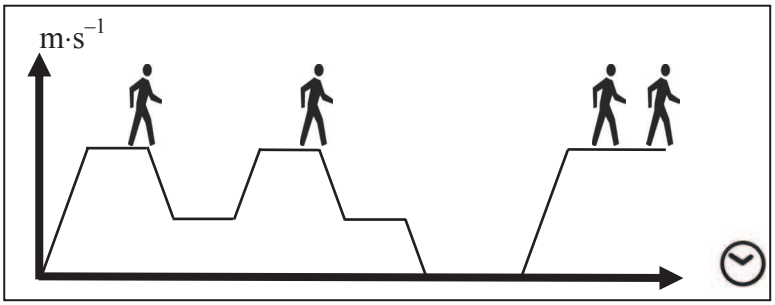


Figure 9 : vitesse de veille et démarrage automatique

II.8. Modifier la réceptivité r4 de façon à prendre en compte ce nouveau mode de fonctionnement.

Partie III : REGLAGE DES PARAMETRES D'ASSERVISSEMENT

Objectif : la maîtrise de la vitesse permet d'économiser de l'énergie mais cela ne doit pas se faire au détriment du confort et de la sécurité. L'objectif de cette partie est d'identifier les paramètres et de régler l'asservissement en vitesse afin d'avoir un comportement conforme au cahier des charges.

Données : la commande vectorielle du moteur asynchrone peut être modélisée autour du point de fonctionnement par l'asservissement en vitesse illustré par le schéma bloc **figure 10**.

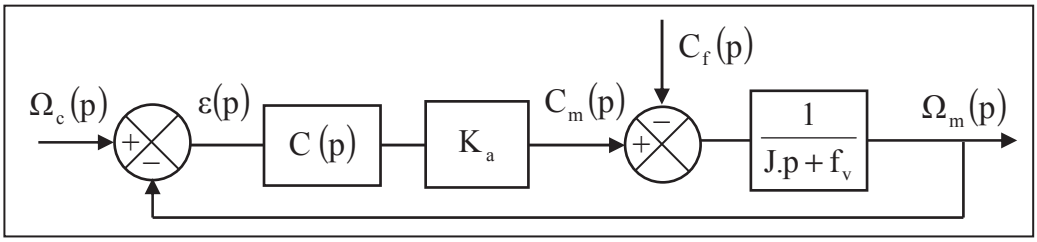


Figure 10 : schéma bloc de l'asservissement en vitesse

$\omega_c(t)$	Vitesse de consigne (rad·s^{-1})
K_a	Raideur de l'asservissement (K_a = 0,122 N·m·s)
$c_m(t)$	Couple disponible sur l'arbre de sortie du moteur (N·m)
$c_f(t)$	Couple de frottement ramené sur l'arbre du moteur (N·m)
J	Inertie equivalente ramenée à l'arbre moteur (kg·m^2)
f_v	Frottement visqueux (N·m·s) ramené à l'arbre moteur

Tableau 2 : paramétrage de l'asservissement

Rappel : on notera F(p) la transformée de Laplace de la fonction f(t) où p représente la variable de Laplace.

Identification des caractéristiques : $c_f(t)$, J et f_v

On prendra C (p) = 1.

III.9 Exprimer la vitesse du rotor Ω_m (p) en fonction de la consigne Ω_c (p) et du couple de frottement C_f (p).

III.10 Donner l'expression de la constante de temps τ du système en fonction de J, K_a et f_v.

III.11 Déterminer $\omega_\infty = \lim_{t\to+\infty} \omega_m(t)$ pour un échelon de consigne $\omega_c(t) = \omega_{c0}$ et un couple résistant supposé constant : $c_f(t) = C_{f0}$.

III.12 A partir des trois essais à vide de la figure 11, tracer les graphes $\omega_\infty = g_1(\omega_{c0})$ et $\tau = g_2(\omega_{c0})$. Proposer un modèle d'identification pour les fonctions g_1 et g_2. En déduire les valeurs de C_{f0}, f_v et J.

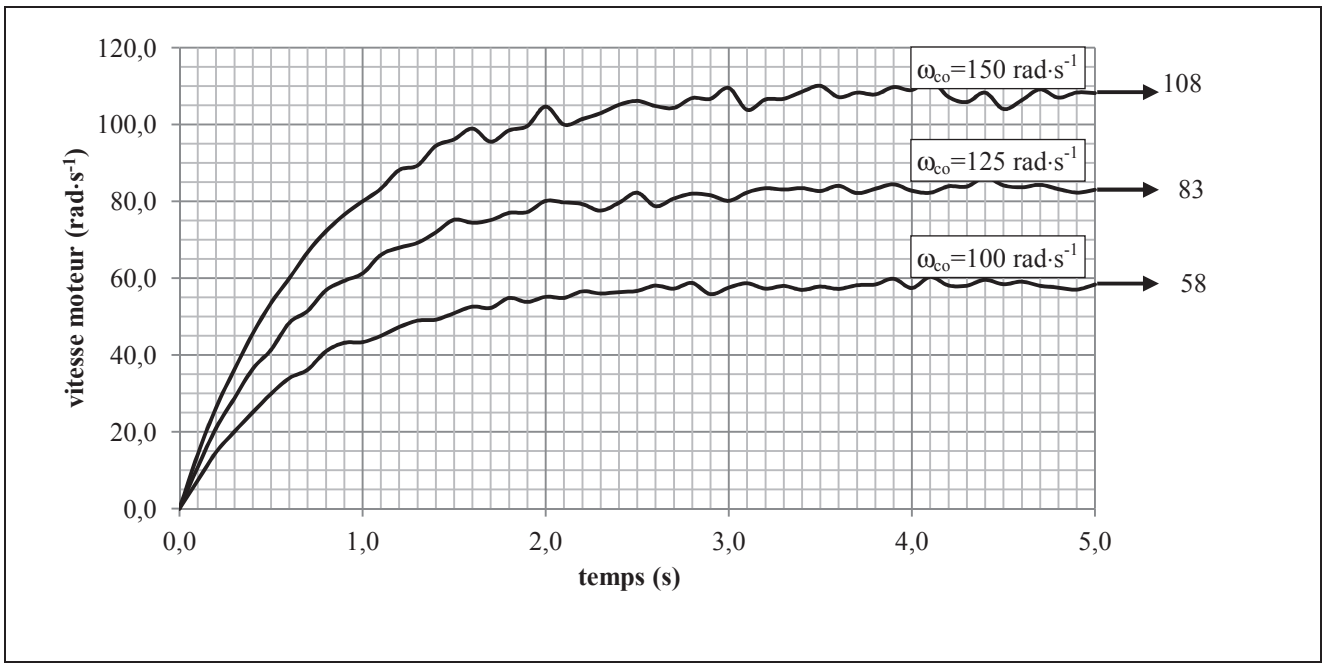


Figure 11 : essais à vide

On prendra J = 0,08 kg·m^2 et f_v = 0 N·m·s pour la suite du sujet

Réglage du correcteur Proportionnel Intégral (PI)

On choisit d'utiliser un correcteur Proportionnel Intégral modélisable par la fonction de transfert :

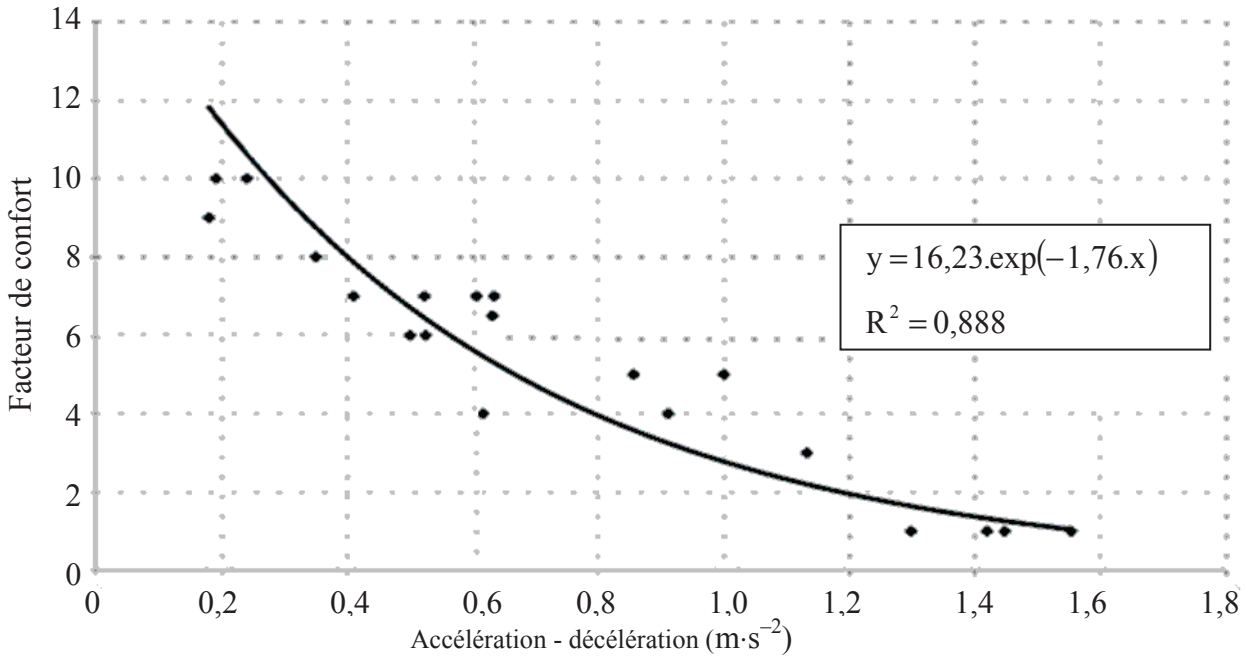
$$C(p) = K\frac{1+p}{p} \text{ avec } K \in \mathbb{R}^+.$$

III.13 Justifier, vis-à-vis du cahier des charges, l'utilisation d'un correcteur Proportionnel Intégral.

III.14 Une simulation pour différentes valeurs du gain K est représentée sur les **figures 13** et **14**, page 11. Compléter le tableau du **document réponse DR1** à l'aide des courbes **figures 12**, **13** et **14**, pages 10 et 11. Donner la valeur de K permettant de valider l'ensemble des critères : « rapidité », « amortissement », « précision », « facteur de confort ».

III.15 Donner l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte : $H_{BO}(p)=\dfrac{\Omega_m(p)}{\varepsilon(p)}$.

III.16 Tracer sur le **document réponse DR2** la réponse fréquentielle dans le plan de Bode de $H_{BO}(p)$ (diagrammes asymptotiques + courbes réelles) pour la valeur de K déterminée à la **question III.14**. Faire apparaître, sur le **document réponse DR2**, la marge de phase de l'asservissement puis conclure sur la capacité de l'asservissement à respecter le critère de stabilité du cahier des charges.



Résultat d'essai donnant le confort des passagers en fonction de l'accélération - décélération de l'escalier roulant. Le facteur 1 désigne le sentiment de confort minimum et le facteur 10 celui de confort maximum.

Figure 12 : facteur de confort

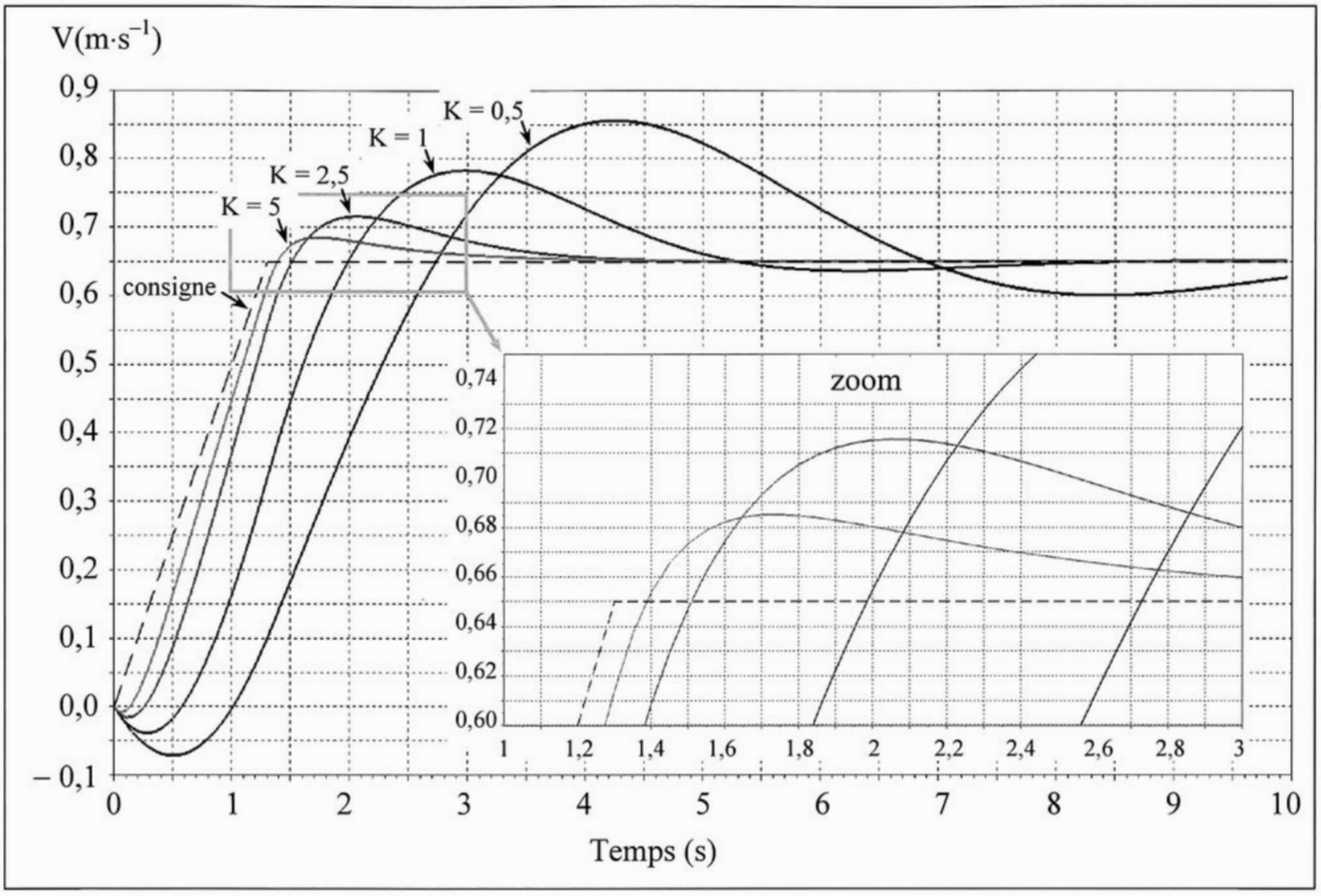


Figure 13 : simulation de l'évolution de la vitesse des marches avec correcteur PI

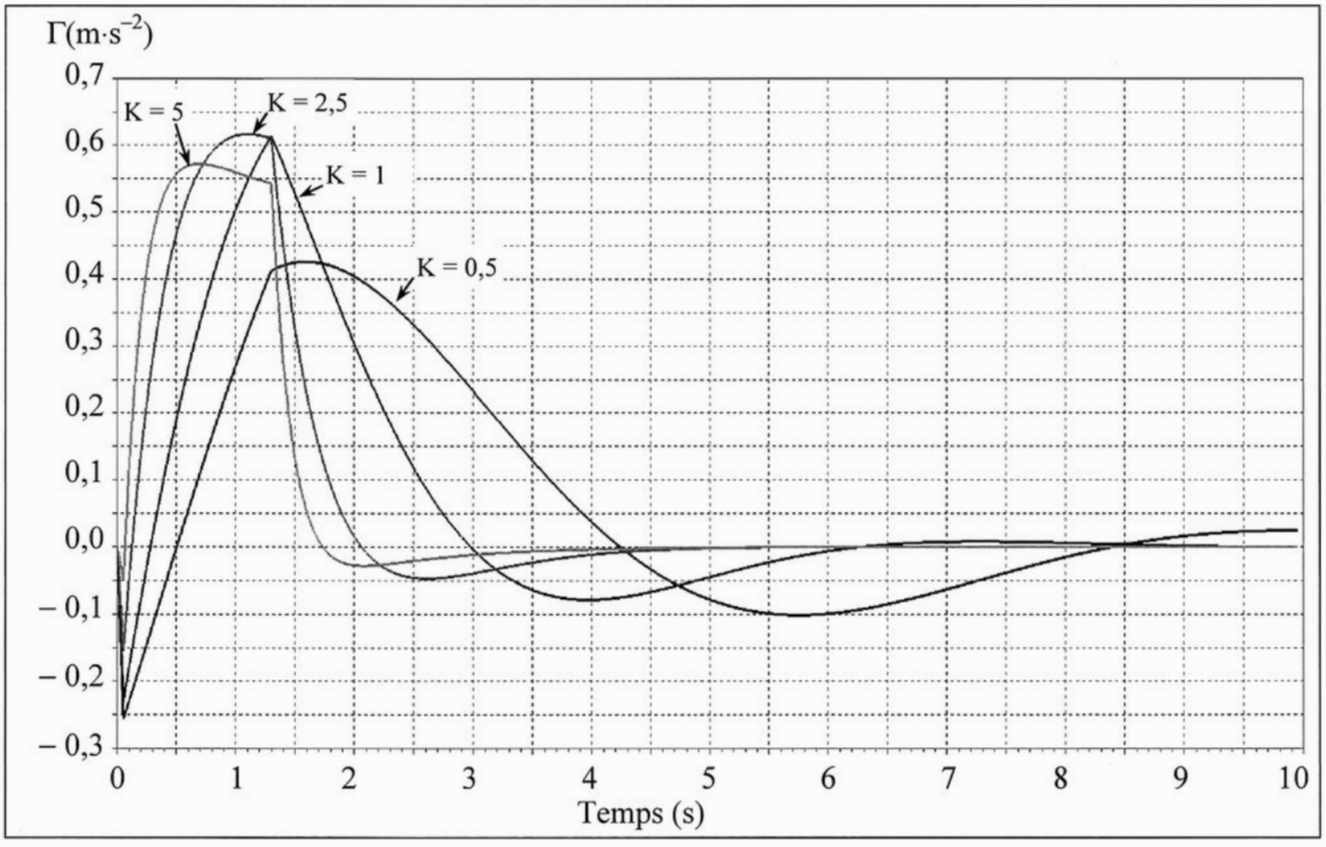


Figure 14 : simulation de l'évolution de l'accélération des marches avec correcteur PI

Partie IV : AMELIORATION DE LA SECURITE

Objectif : valider la fonction de service FS3 et assurer la sécurité des passagers.

Pour cela il faut avoir un freinage contrôlé.

Dans cette partie, vous allez :

- calculer le couple de freinage nécessaire pour respecter les contraintes de freinage ;
- trouver la relation nécessaire entre la commande de freinage et le couple généré ;
- analyser les résultats d'essais du frein ainsi commandé.

Contexte

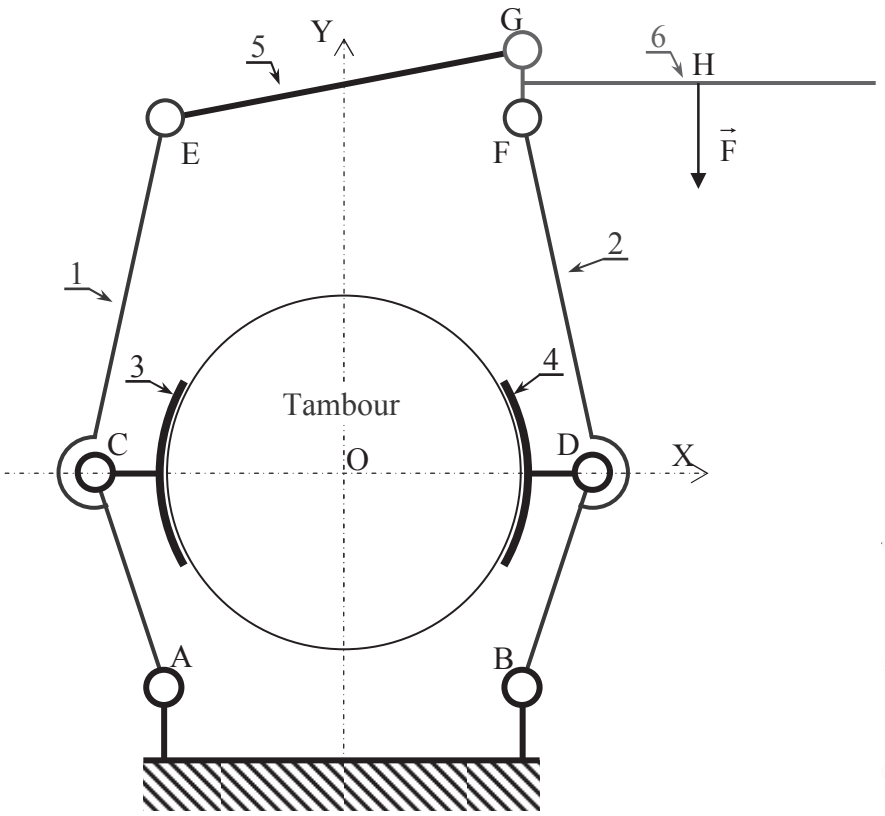
Un système de freinage d'urgence doit atteindre deux exigences contradictoires :

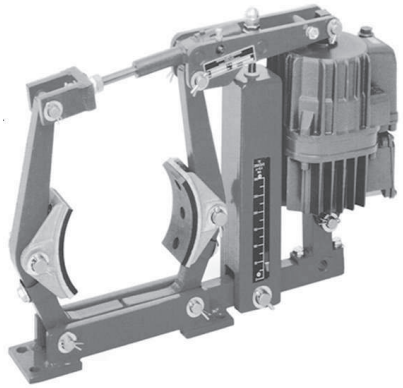
- limiter le déplacement des marches en cas de coincement ;
- limiter la décélération pour éviter la chute de passagers.

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

Le schéma cinématique **figure 15** montre l'architecture du système de freinage de la poulie motrice.

L'action de commande est modélisée par le torseur : $\{T_{commande \to 6}\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{F} = -F.\vec{y} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_H$ avec $F \in \mathbb{R}^+$.





$\overrightarrow{OA}\begin{vmatrix}-25\\-30\end{vmatrix}$; $\overrightarrow{OB}\begin{vmatrix}25\\-30\end{vmatrix}$; $\overrightarrow{OC}\begin{vmatrix}-35\\0\end{vmatrix}$; $\overrightarrow{OD}\begin{vmatrix}35\\0\end{vmatrix}$; $\overrightarrow{OE}\begin{vmatrix}-25\\50\end{vmatrix}$; $\overrightarrow{OF}\begin{vmatrix}25\\50\end{vmatrix}$; $\overrightarrow{OG}\begin{vmatrix}25\\60\end{vmatrix}$; $\overrightarrow{OH}\begin{vmatrix}50\\55\end{vmatrix}$

Remarque : les valeurs des coordonnées sont en cm.

Figure 15 : système de freinage

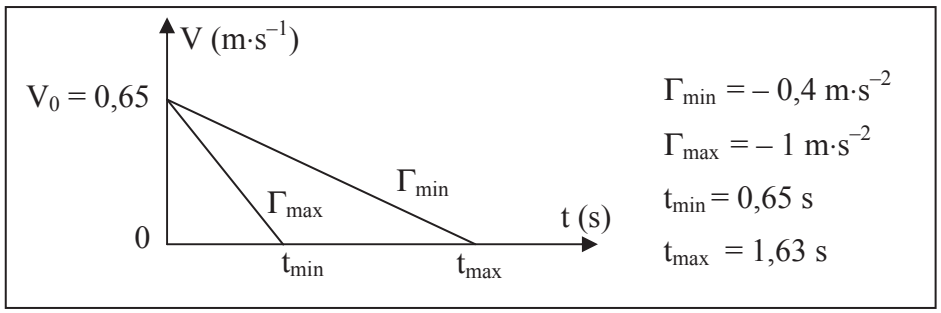


Figure 16 : profils de vitesse à respecter lors d'un freinage d'urgence

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 $V_0 = 0{,}65\ m{\cdot}s^{-1}$.

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.

IV.17 En utilisant le théorème de l'énergie cinétique appliqué à l'ensemble E = {escalier mécanique + passagers}, déterminer la relation entre le couple de freinage ramené à l'arbre moteur C_{frein} 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**.

Détermination de l'action de commande

IV.18 Montrer que la modélisation plane (**figure 15**, page 12) du système de freinage constitué des pièces {1, 2, 3, 4, 5, 6} est isostatique (chaque action mécanique transmise par les liaisons peut être déterminée à partir de l'effort de commande F, en particulier les actions des mâchoires 3 et 4 sur le tambour).

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 :

$$\{T_{3\to tambour}\} = \left\{\begin{matrix} X_3.(\vec{x} + f.\vec{y}) \\ \vec{0} \end{matrix}\right\}_C \quad ; \quad \{T_{4\to tambour}\} = \left\{\begin{matrix} X_4.(\vec{x} + f.\vec{y}) \\ \vec{0} \end{matrix}\right\}_D$$

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

IV.19 En précisant votre démarche de résolution (choix des systèmes isolés et des équations à développer), déterminer numériquement le rapport : $\frac{X_4}{F}$.

IV.20 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_{frein} 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}.

Tests avec contrôle intelligent du freinage

Une rétroaction en boucle fermée de contrôle du système de freinage peut être utilisée avec succès pour contrôler les caractéristiques d'arrêt des escaliers de service public afin de réduire le risque de chutes de passagers.

La **figure 17** représente des mesures de vitesse lors d'un freinage d'urgence sur un escalier descendant.

On utilisera les profils (simplifiés) en pointillés pour répondre à la question suivante.

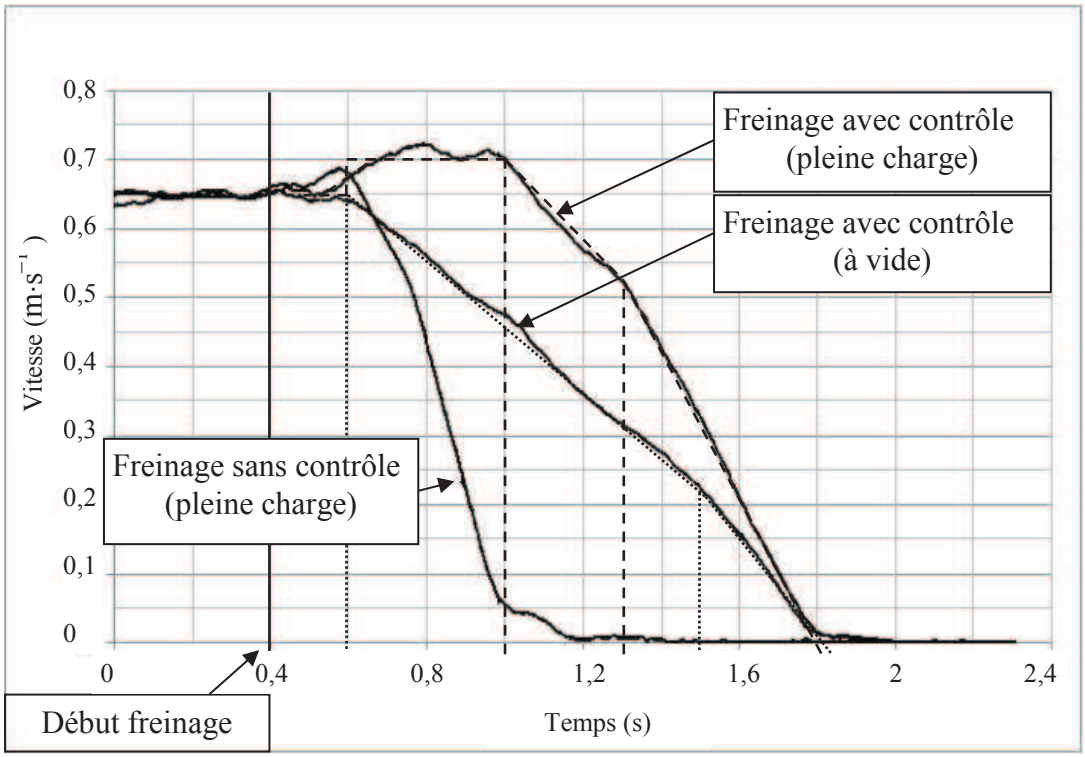


Figure 17 : mesure de vitesse lors d'un freinage d'urgence

IV.21 La boucle de contrôle du système de freinage permet-elle de valider les trois critères de la fonction FS3 du cahier des charges ? Justifier votre réponse.

L'objectif de cette épreuve est de montrer comment les constructeurs réussissent à optimiser la dépense énergétique ainsi que la sécurité tout en conservant le caractère confortable du système. Les performances ainsi attendues sont données dans le **tableau 1**, page 3 (fonctions de service FS1, FS2 et FS3 définies dans le cahier des charges). La démarche adoptée dans le sujet a pour but d'obtenir les performances simulées et de les comparer à celles mesurées afin d'établir les écarts et ainsi se prononcer sur la validation du cahier des charges.

IV.22 Compléter le **document réponse DR3** en indiquant si la validation de la performance attendue se fait en mesurant l'écart avec une simulation ou une mesure (cocher les cases correspondantes).

Fin de l'énoncé

DOCUMENTS REPONSES

A rendre avec la copie

B

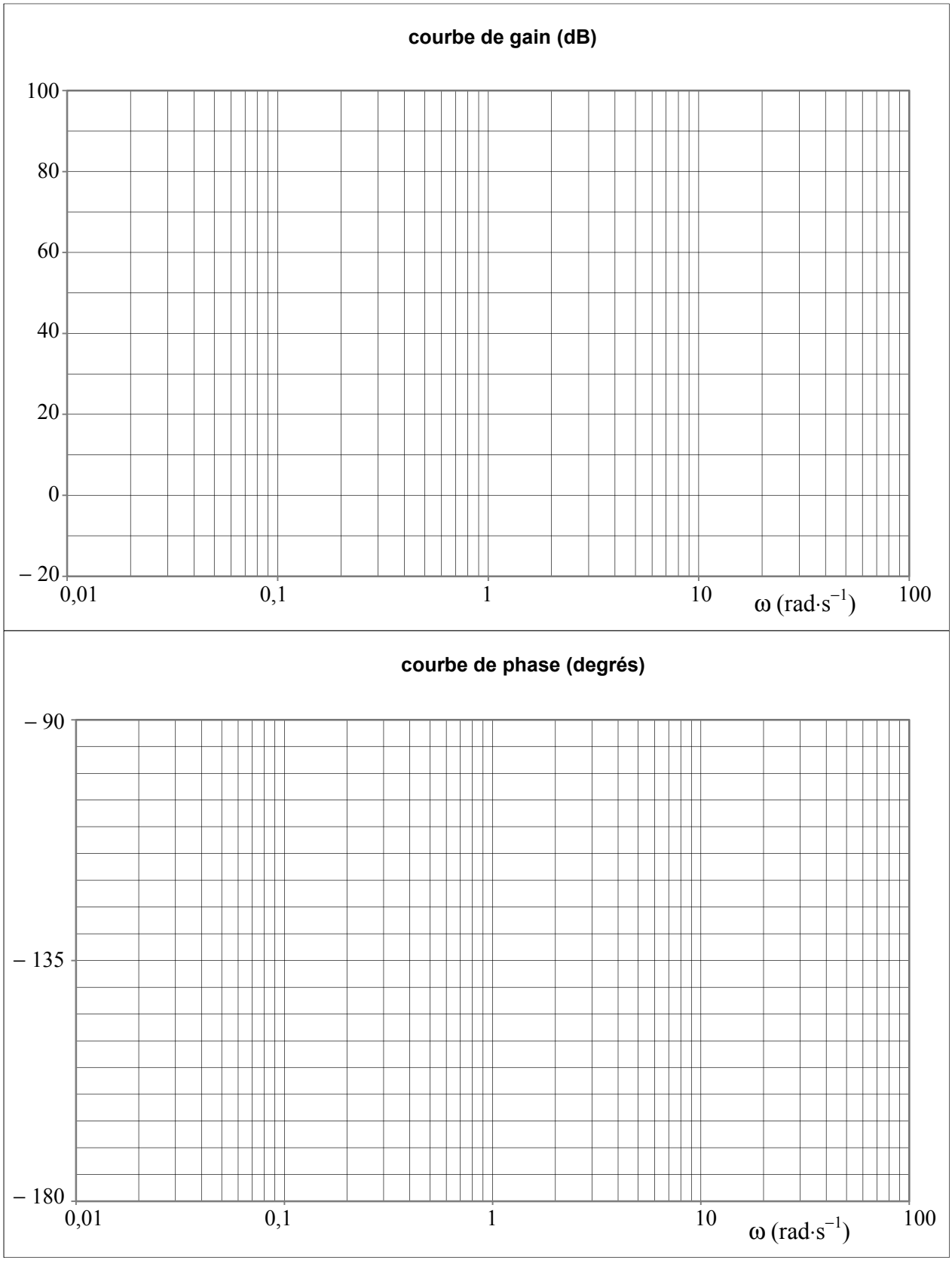
Document réponse : DR1

III 14 : Influence du gain K sur les performances de l'asservissement

K	Temps de réponse à 5 % (en seconde)	Dépassement maximum (en %)	Facteur de confort
0,5			
1			
2,5			
5			

Document réponse : DR2

III 16 : Réponse fréquentielle de la fonction de transfert en boucle ouverte



Document réponse : DR3

IV 22 : Validation des performances attendues.

Fonctions de services	Critères	Performances attendues	performances simulées	performances mesurées
FS1 : transporter les piétons entre deux niveaux	Rapidité de l'asservissement de vitesse	Temps de stabilisation à 5 % de la vitesse finale = 3 s maximum		
	Amortissement de l'asservissement de vitesse	Dépassement transitoire de la vitesse finale = 20 % maximum		
	Stabilité de l'asservissement de vitesse	Marge de phase = 45° minimum		
	Précision de l'asservissement de vitesse	Insensible aux variations de charge en régime permanent.		
	Facteur de confort	≥ 6		
FS2 : optimiser la gestion de l'énergie	Gain en énergie par rapport au fonctionnement continu	2 % minimum		
FS3 : assurer la sécurité des piétons dans le cas d'un freinage d'urgence	Distance d'arrêt	600 mm maximum		
	Décélération	$-1\ m{\cdot}s^{-2}$ maximum		
	Variation de la distance d'arrêt en fonction de la charge	35 % maximum		

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de MP chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance
- Ingénierie système : besoin, exigences et diagrammes SysML
- Énergétique : puissances, théorème de l'énergie cinétique, rendement
- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Modèles de comportement et réponse temporelle : premier ordre, second ordre, identification
- Correction des systèmes asservis : correcteurs P, PI et à avance de phase
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière :
écrire sur WhatsApp

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/ccinp/mp