Concours Centrale-Supélec, France

Session 2006, filière MP

Option sciences industrielles de l'ingénieur

Ce que traite le sujet

- Parties I à IV : présentation, chaîne fonctionnelle et courbe d'effort à la pédale
- Partie V : modélisation du restituteur d'effort
- Partie VI : commande du restituteur d'effort

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/centrale/mp/2006/si

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

SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGÉNIEUR

Restituteur d'effort pour système de transmission Clutch-by-Wire

La présente notice comporte 7 pages dactylographiées et une feuille-réponse (format A3).

Partie I - Présentation

« L'embrayage par fil »

La conduite en ville nécessite des répétitions fréquentes de la manœuvre d'embrayage/débrayage. Pour améliorer le confort de conduite, on peut substituer la force musculaire du conducteur, par une commande électrique de l'embrayage. Dans ce cas, il devient nécessaire de renseigner l'unité de contrôle électronique sur les intentions du conducteur. Pour cela, plusieurs options sont possibles :

- soit à l'aide d'un capteur de position placé sur la pédale d'embrayage ;
- soit à l'aide d'un capteur situé sur la base du levier de vitesse, dans ce cas la pédale d'embrayage n'est pas nécessaire.

On peut aussi permettre au conducteur de choisir d'utiliser ou non la pédale d'embrayage.

Le calculateur contrôlera directement un actionneur électrique qui manoeuvrera l'embrayage de façon optimale. L'automatisation de la fonction embrayage permet de corriger les éventuelles fausses manoeuvres du conducteur, d'assurer la fonction anti-calage du moteur et de participer aux fonctions d'anti-patinage et d'anti-blocage des roues.

La restitution d'effort

En cas d'utilisation de la pédale, il faut recréer les sensations du conducteur, c'est-à-dire une résistance mécanique proche de celle d'une commande mécanique classique. Pour réaliser ce système de retour d'effort, deux options sont envisageables :

- soit un dispositif passif, réalisé à l'aide d'un ressort par exemple ;
- soit un dispositif actif, réalisé à l'aide d'un actionneur électrique.

Les améliorations attendues sont :

- la réduction de la course et de l'effort à la pédale ;

Filière MP

- l'amélioration de la protection des pieds du conducteur en cas d'accident ;
- la réduction des retours de bruits et de vibrations dans l'habitacle.

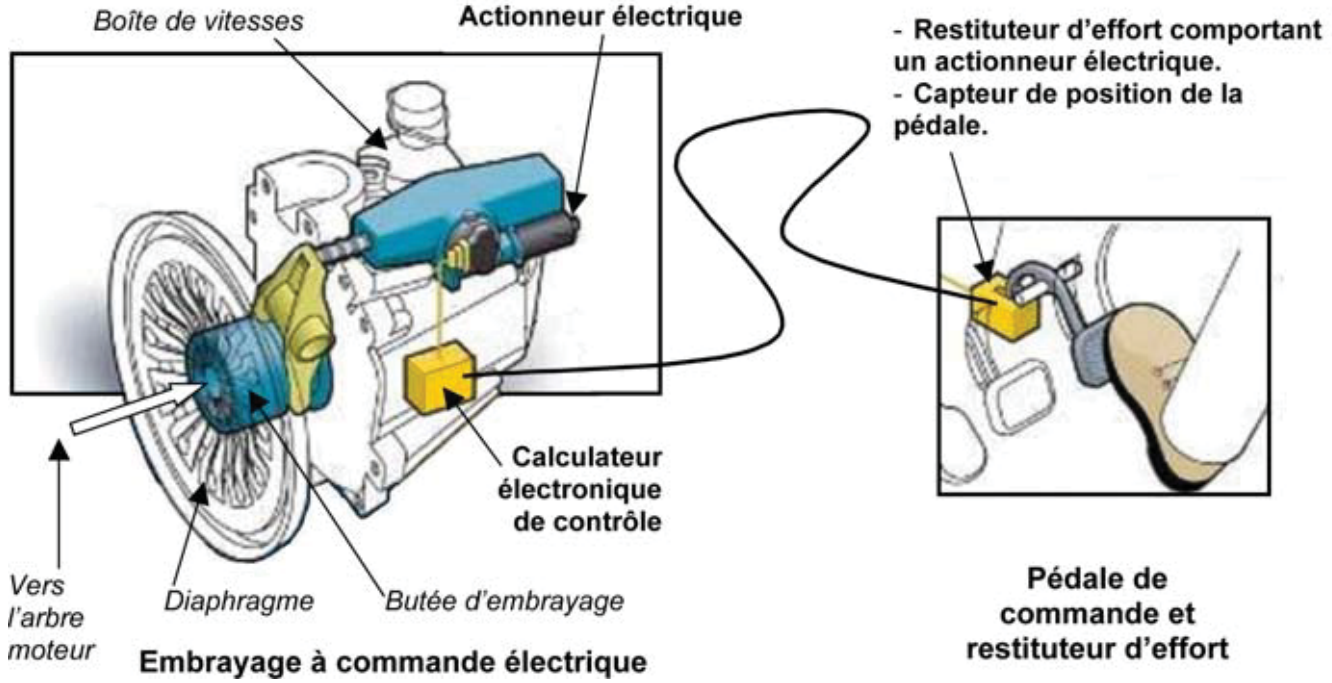


Figure 1 : d'après documents Valeo

Partie II - Objet de l'étude

L'étude porte sur un démonstrateur de restituteur actif d'effort à la pédale. Le démonstrateur permet de tester différentes lois de restitution d'effort auprès d'un panel d'utilisateurs. En faisant varier plusieurs paramètres, il est alors possible de définir la loi de restitution d'effort sur des critères ergonomiques.

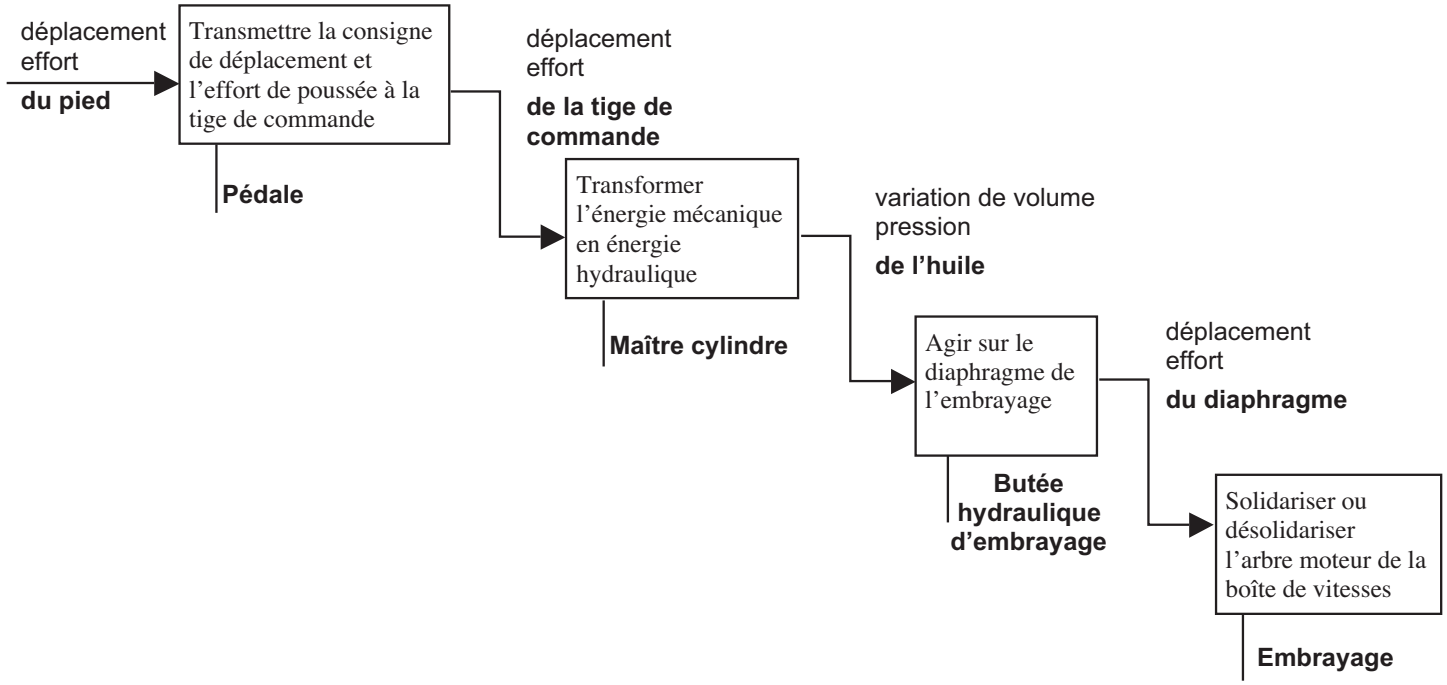
L'étude sera conduite de la façon suivante :

- analyse du système de manœuvre d'un embrayage ;
- étude de la loi d'effort à restituer pour évaluer la puissance de l'actionneur à employer ;
- élaboration du modèle de l'ensemble de la chaîne d'énergie ;
- synthèse du correcteur de l'asservissement permettant de recopier les différentes lois d'effort imposées.

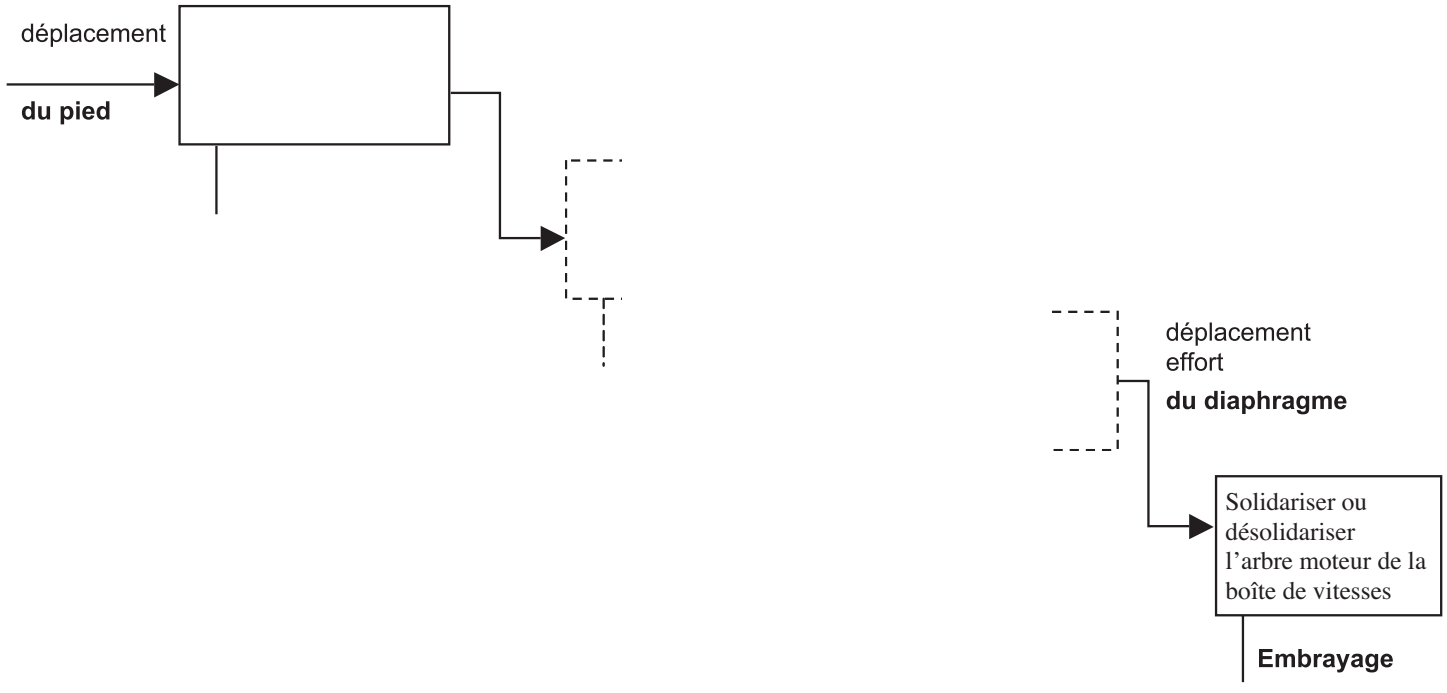
Partie III - Chaîne fonctionnelle d'une commande d'embrayage

Objectif : Situer la commande à la pédale dans l'ensemble de la chaîne fonctionnelle de l'embrayage.

La chaîne fonctionnelle ci-dessous présente les différents constituants d'un embrayage à commande hydraulique.



Q.1) À l'aide du texte de présentation de la partie I, établir la chaîne fonctionnelle d'un embrayage à commande électrique, piloté à l'aide d'une pédale. S'inspirer du formalisme de la figure précédente. Ne pas faire apparaître le système de restitution d'effort.



Partie IV - Courbe d'effort à la pédale

Objectif : Étudier la loi d'effort à restituer pour évaluer la puissance de l'actionneur à employer.

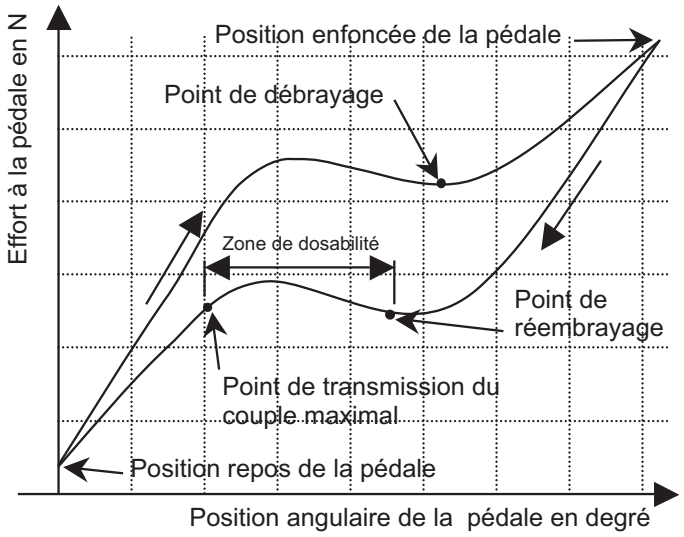


Figure 2a

Type de loi que devra restituer le restituteur

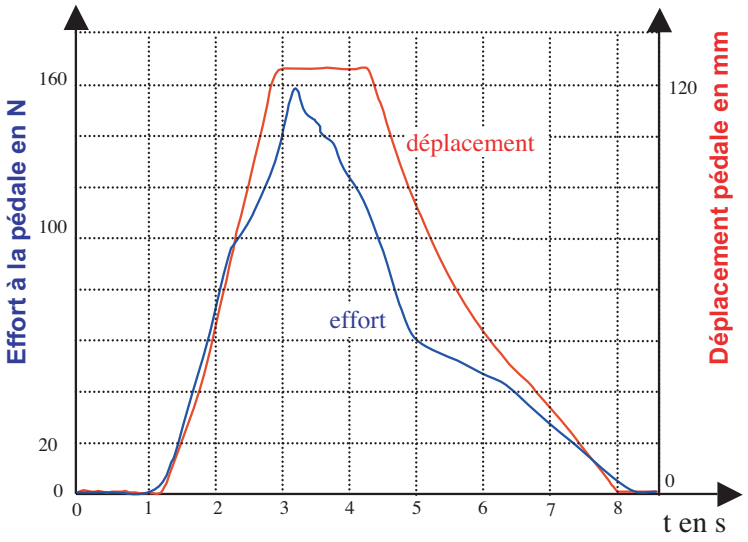


Figure 2b

Effort mesuré à la pédale et déplacement du point d'application de l'effort à la pédale

Remarque : le déplacement pédale est proportionnel à l'angle de la pédale.

Figure 2 : courbes d'efforts et de déplacement de la pédale

Avant de concevoir le système de restitution, on étudie l'évolution de l'effort à la pédale sur un véhicule équipé d'un système classique de commande de l'embrayage. Le démonstrateur restituera des lois effort-déplacement obtenues à partir de la courbe de la figure 2a. Plusieurs profils de loi seront testés. Les courbes de la figure 2b sont le résultat d'une mesure de l'effort exercé par le conducteur sur la pédale et le déplacement du point d'appui du pied sur la pédale par rapport au châssis du véhicule, lors d'une phase de débrayage, embrayage. Ces courbes suivent à peu près la loi de la figure 2a. On appelle phase de débrayage la phase d'appui sur la pédale et phase d'embrayage la phase de relâché de la pédale.

Q.2) Identifier les phases de débrayage et d'embrayage sur la figure 2b. Répondre en donnant les intervalles de temps correspondants.

Q.3) L'actionneur électrique du restituteur d'effort peut se comporter comme un frein ou comme un moteur. Quand cet actionneur est moteur il consomme de l'énergie électrique. Quand il est frein, il dépense de l'énergie par effet joule, il n'est pas prévu de le faire fonctionner en mode générateur d'énergie électrique. Avec l'hypothèse de rendement 1 de la chaîne de transmission de puissance, comment se comportera l'actionneur, pour chaque phase (débrayage, embrayage) ? Répondre en précisant s'il sera moteur ou frein et en justifiant à partir des données de la courbe figure 2b.

Q.4) Si l'on suppose que le mécanisme restituteur a un rendement de 1, calculer la puissance maximale, en valeur absolue, que le restituteur devra absorber ou délivrer pour restituer la même loi que celle obtenue lors de la mesure de la figure 2b.

On verra plus loin qu'un ressort est utilisé dans le restituteur, ce ressort aura alors pour effet de stocker et de restituer de l'énergie mécanique.

Partie V - Modélisation du restituteur d'effort

Objectif : Faire un modèle du restituteur dans le but d'étudier sa commande.

V.A - Étude géométrique du mouvement de la pédale

Objectif : Établir la relation entre la position angulaire de la pédale et le déplacement du piston du restituteur.

La figure ci-dessous montre le système de transformation de mouvement de rotation de la pédale (paramètre angulaire θ), en translation du piston (paramètre y).

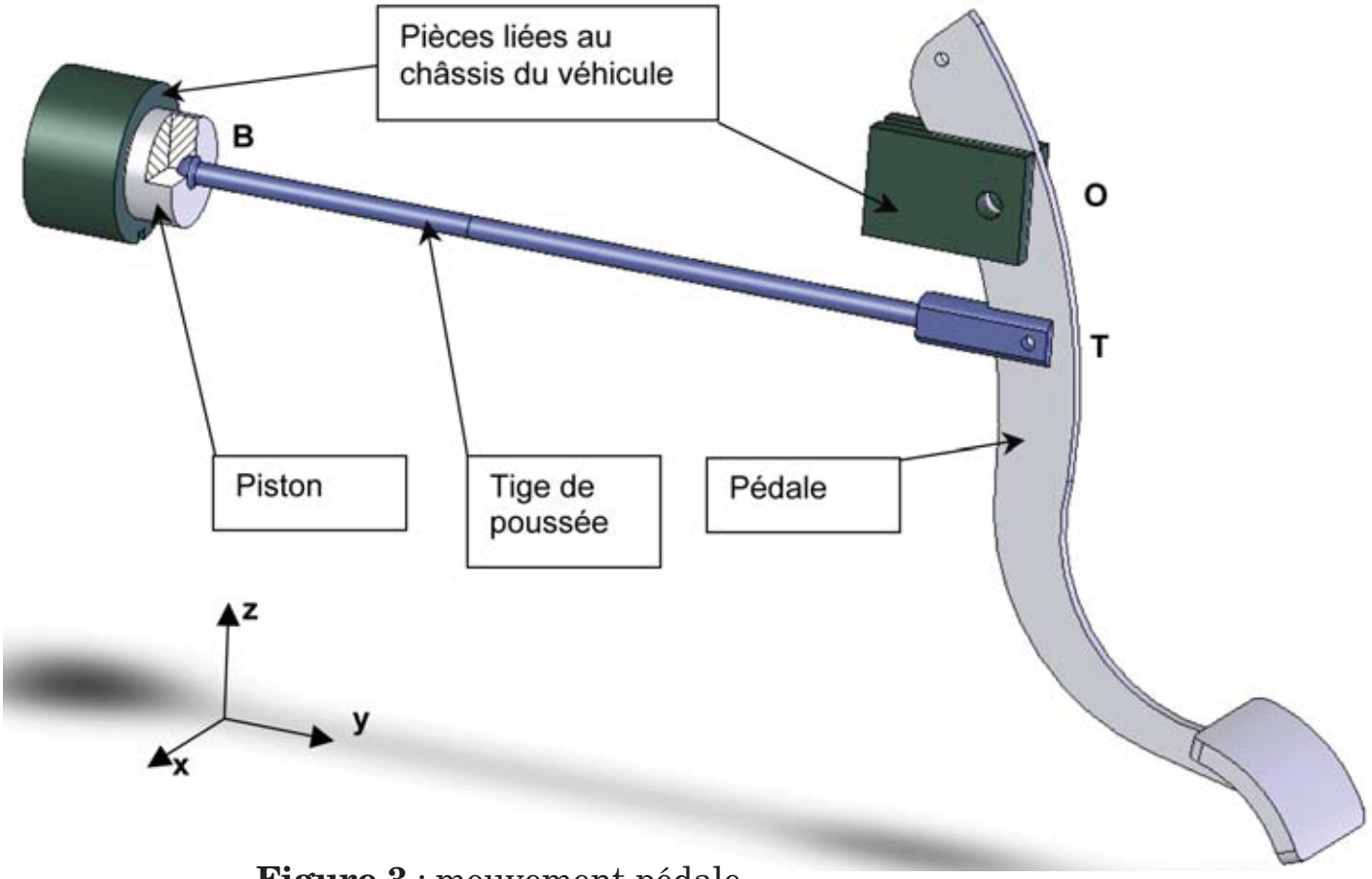


Figure 3 : mouvement pédale

Q.5) Pour chacune des liaisons de ce mécanisme, donner le nom des deux solides en liaison, le nom de la liaison, ses caractéristiques géométriques, le nombre de paramètres géométriques variables au cours du temps nécessaires pour définir la position d'un solide par rapport à l'autre. Répondre sous la forme d'un tableau.

Solides concernés	Nom de la liaison	Caractéristiques géométriques	Nombre de paramètres	Nom des paramètres. (non demandé)
pédale/châssis	pivot	d'axe $(O, \vec{x})$	1	θ
piston/châssis				y, …

Q.6) Faire un schéma cinématique normalisé en projection plane. Sur ce schéma indiquer les directions $\vec{x}$, $\vec{y}$ et $\vec{z}$ ainsi que les centres des liaisons.

Q.7) Mettre en place le système d'équations qui permettrait de déterminer le déplacement du piston, y, ainsi qu'éventuellement tous les autres paramètres géométriques en fonction de θ. Il n'est pas demandé de résoudre ce système.

Q.8) La figure ci-dessous représente la relation $y(\theta)$.

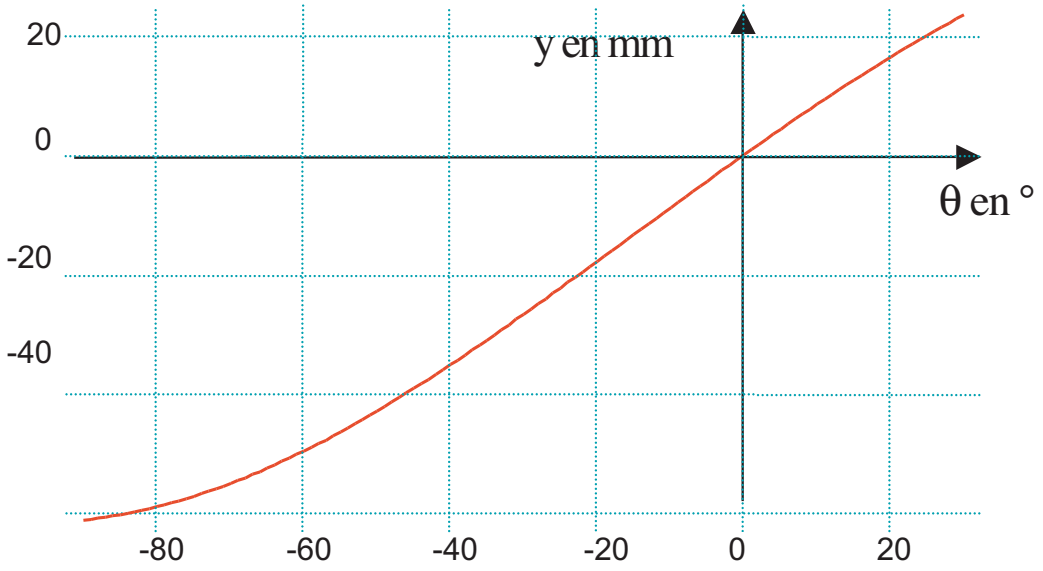


Figure 4 : relation géométrique $y(\theta)$

Pour l'étude de la commande on cherche un modèle linéaire pour la relation $y(\theta)$. θ varie entre $[0, -40°]$. En choisissant la méthode la plus appropriée, donner la relation $y(\theta)$ linéarisée au point $(0, 0)$ pour la plage de variation utilisée.

V.B - Étude dynamique de la pédale

Objectif : Établir l'équation différentielle du mouvement de la pédale.

Soient :

- G le centre de gravité de la pédale. La position de G est définie sur la Figure 5, avec : $OG = r_G = 70 \text{ mm}$; $\alpha_G = 7°$.
- m_P la masse de la pédale $m_P = 250 \text{ g}$.

Un ressort de torsion, de raideur K_R, a pour fonction de compenser la pesanteur quand $\theta = 0$ et en l'absence d'une action de la tige de poussée sur la pédale. Soit

$$\left\{ \vec{0} \; ; C_R \vec{x} \right\}_M \quad ; \forall M$$

l'action du ressort sur la pédale. On désigne par $\vec{g} = -g \vec{z}$ l'accélération de la pesanteur.

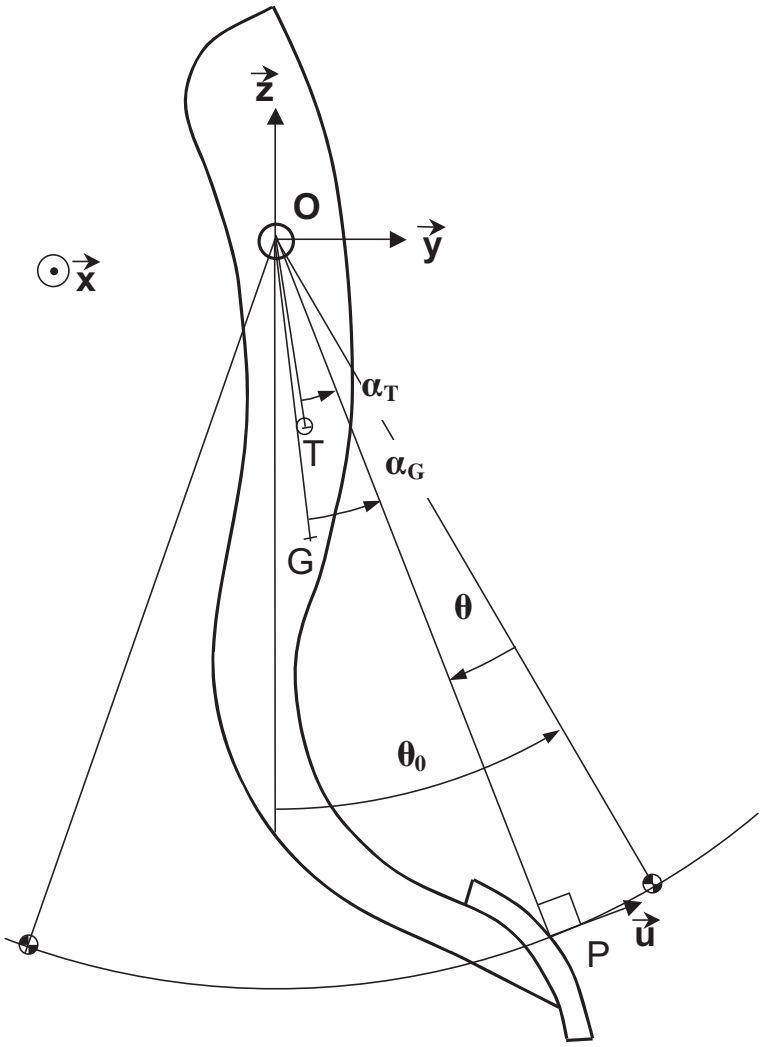


Figure 5 : pédale

Q.9) En l'absence des actions du pied et du restituteur, on souhaite que la pédale soit à l'équilibre à $\theta = 0$. Déterminer l'action du ressort à $\theta = 0$.

Soient :

- J_P le moment d'inertie par rapport à l'axe $(0, \vec{x})$ de la pédale. $J_P = 5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$;
- $\left\{ -F_P \vec{u} \; ; \vec{0} \right\}_P$ l'action mécanique du pied sur la pédale avec $\|\vec{u}\| = 1$, $\vec{u} \cdot \vec{x} = 0$ et $\vec{u} \cdot \overrightarrow{OP} = 0$.
- $\left\{ F_T \vec{u} \; ; \vec{0} \right\}_T$ l'action mécanique de la tige de poussée sur la pédale. Ce qui revient à négliger l'inclinaison de la tige de poussée par rapport à la normale à $\overrightarrow{OP}$.
- $\overrightarrow{OT}$ est défini par la Figure 5 : $OT = r_T = 53,4 \text{ mm}$.
- $\overrightarrow{OP}$ est défini par la Figure 5 $OP = R_P = 225 \text{ mm}$.

Q.10) Déterminer l'équation différentielle du mouvement de la pédale, c'est-à-dire la relation entre F_P, F_T, θ et ses dérivées successives, les caractéristiques inertielles et géométriques de la pédale. L'équation différentielle sera linéarisée autour du point de fonctionnement $\theta = 0$. Le solide isolé, le bilan d'actions, les hypothèses effectuées, le théorème utilisé, seront clairement indiqués.

V.C - Étude cinématique du restituteur

Objectif : Établir la relation entre la vitesse angulaire du moteur et la vitesse de déplacement du piston.

Le schéma ci-dessous représente le restituteur électrique d'efforts.

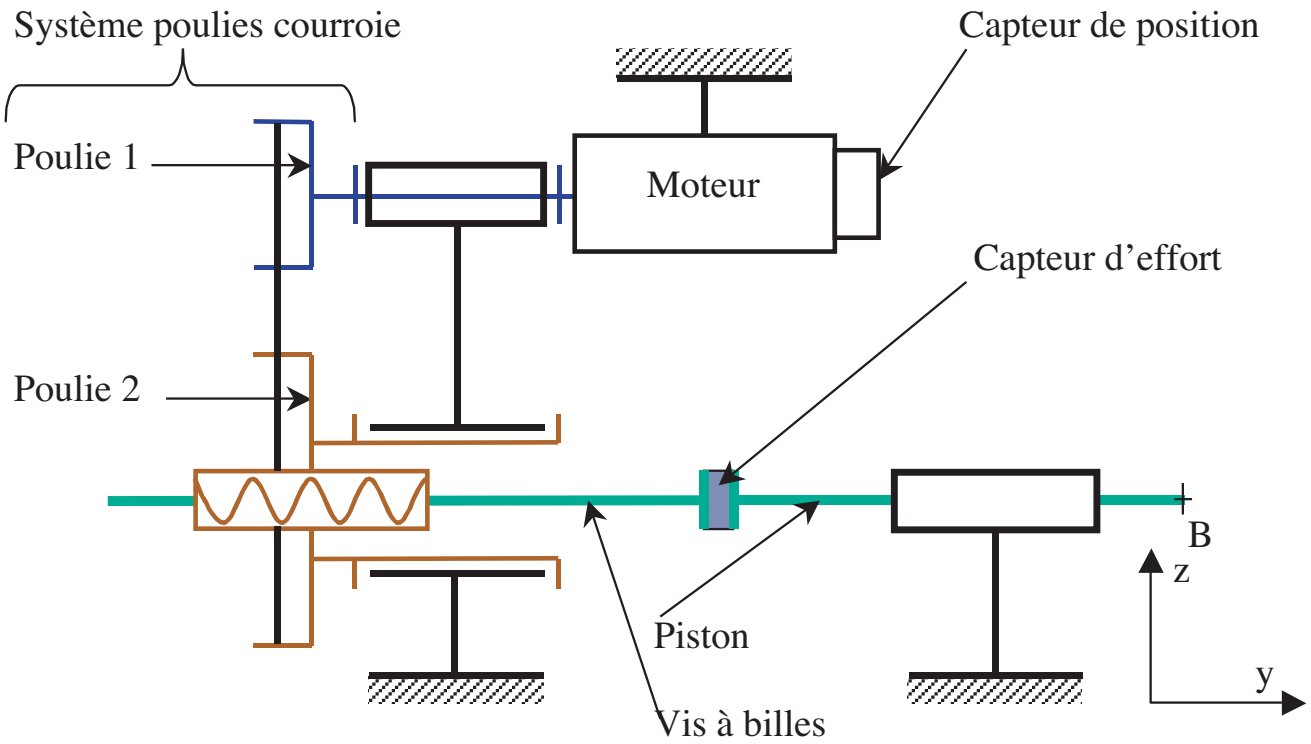


Figure 6 : restituteur d'efforts

Pas du dispositif vis écrou : $p_v = 10$ mm .

Diamètre de la poulie 2 égal au double du diamètre de la poulie 1 liée à l'arbre du moteur.

Le piston et la vis à billes sont en liaison encastrement.

Q.11) Établir la relation entre la vitesse angulaire du moteur par rapport au bâti, notée ω_m et la vitesse de déplacement du piston par rapport au bâti, notée V. On supposera que ω_m et V sont de même signe.

Quelle est alors la relation entre ω_m et $\dot{\theta}$?

V.D - Étude dynamique du restituteur

Objectif : Modéliser le comportement dynamique du restituteur.

Soient :

- C_m le couple moteur ;
- $\left\{ -F_T \vec{y} \; ; \vec{0} \right\}_B$ l'action mécanique de la tige de poussée sur le piston.
  Comme on néglige l'inclinaison de la tige par rapport à l'axe du piston, on peut considérer que le support de ce glisseur est l'axe du piston. De plus on suppose la tige de poussée de masse négligeable.
- Mv la masse de l'ensemble constitué de la vis et du piston.
- J_2 le moment d'inertie, par rapport à son axe $(B, \vec{x})$, de l'ensemble constitué de l'écrou et de la poulie 2.
- J_m le moment d'inertie, par rapport à l'axe du moteur, de l'ensemble constitué de l'axe moteur et de la poulie 1.

On néglige les frottements secs et visqueux.

Q.12) En utilisant le théorème de l'énergie puissance, déterminer l'équation différentielle du mouvement du restituteur, c'est-à-dire la relation entre C_m, F_T, ω_m et ses dérivées successives, les caractéristiques inertielles et géométriques du restituteur. Les hypothèses effectuées, le ou les solides isolés et le bilan d'actions, seront clairement indiqués.

Q.13) Exprimer alors les constantes $\boldsymbol{\gamma}$, $\boldsymbol{\beta}$, $\boldsymbol{\lambda}$ et $\mathbf{J}$ du schéma bloc de la figure 8.

Partie VI - Étude de la commande du restituteur d'effort

Objectif : Elaborer la commande permettant de respecter le cahier des charges.

L'étude sera conduite de la façon suivante :

- mise en place du modèle dynamique du procédé ;
- linéarisation des équations ;
- mise en place du schéma-bloc modélisant l'asservissement de l'écart entre l'effort appliqué par le conducteur sur la pédale et l'effort qu'on souhaite lui faire ressentir ;
- synthèse du régulateur permettant de respecter le cahier des charges

La modélisation du système (partiellement réalisée dans la partie précédente de l'étude) a permis d'établir le schéma bloc du procédé qui est donné sur la Figure 8. Le terme $1/p$ est l'opérateur symbolique représentant une intégration.

- $\mathbf{J}$, R, L, K_e, K_c, $\boldsymbol{\lambda}$, α, $\boldsymbol{\beta}$ et $\boldsymbol{\gamma}$ sont des paramètres constants.

- g_f est le gain du capteur d'effort à la pédale.
- $f_e(\theta)$ est une fonction de la position θ de la pédale. $f_e(\theta)$ est une loi donnant « l'effort d'embrayage » qu'on souhaite restituer à la pédale, c'est l'effort que doit ressentir le conducteur. La figure 7 donne la loi de variation de l'effort que doit ressentir le conducteur en fonction de la position θ de la pédale.

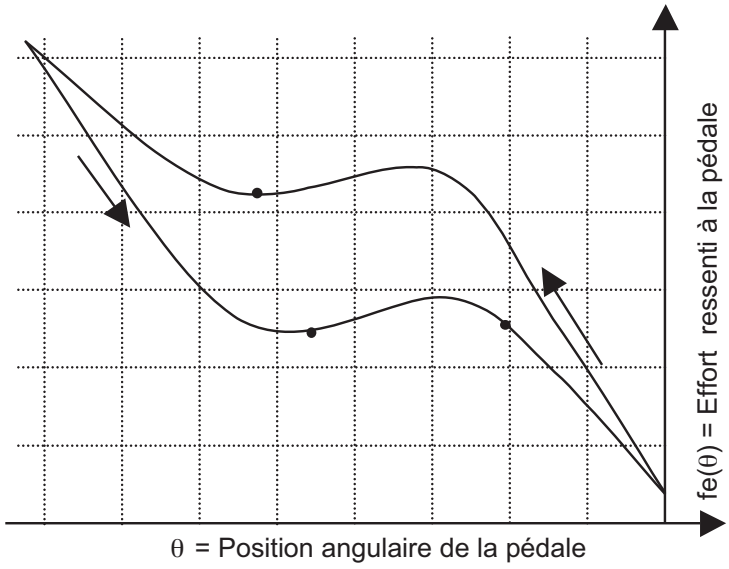


Figure 7

On remarque que $f_e(\theta)$ n'est pas une loi linéaire. La linéarisation de $f_e(\theta)$ autour d'un point de fonctionnement θ_0 s'exprime dans le domaine temporel par :

$$f_e(\theta) = f_e(\theta_0) + \left(\frac{\partial F}{\partial \theta}\right)_{\theta_0}(\theta - \theta_0) = f_e(\theta_0) + f_e'(\theta_0)\cdot\theta_1 \ .$$

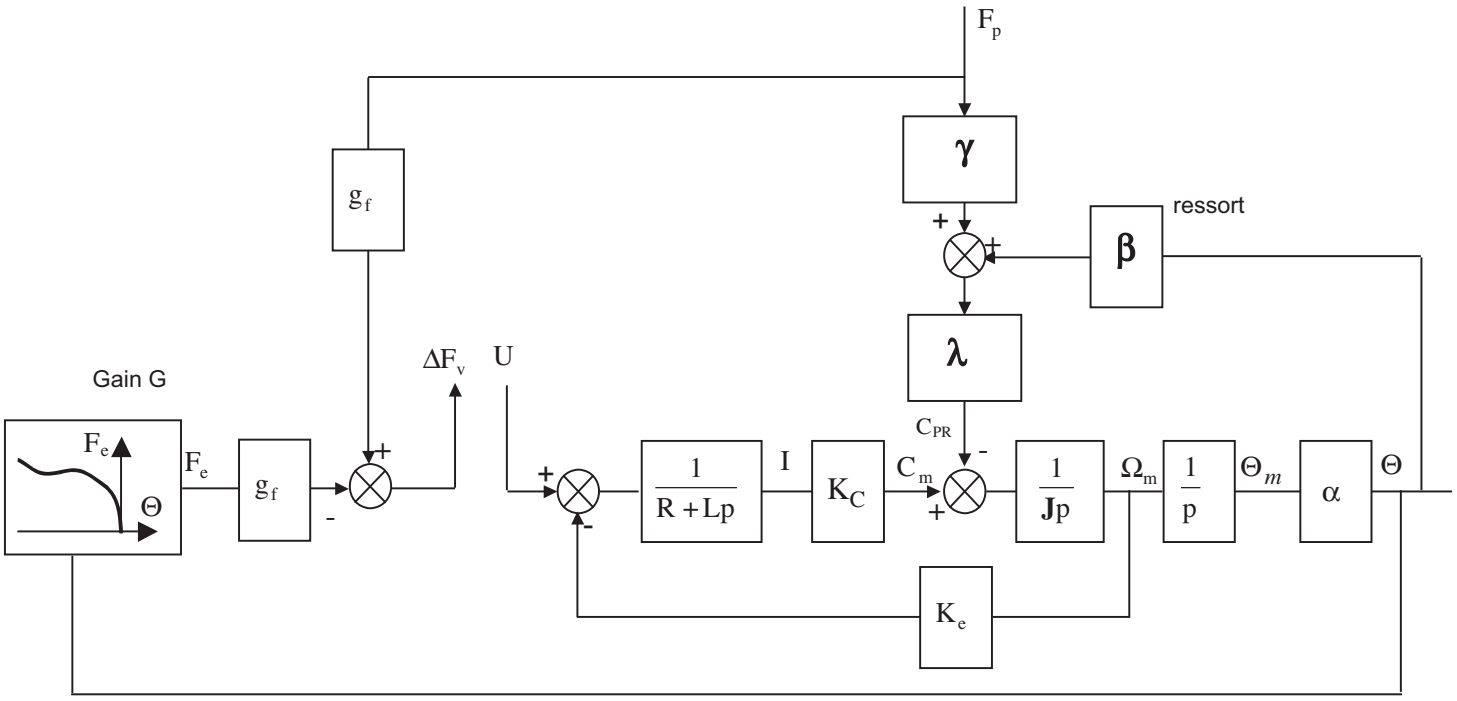


Figure 8 : schéma bloc du procédé

Fonction temporelle	$\theta(t)$	$\omega_m(t)$	$f_p(t)$	$f_e[\theta(t)]$	$u(t)$	...	fonction (t)
Transformée de Laplace	$\Theta(p)$	$\Omega_m(p)$	$F_p(p)$	$F_e[\Theta(p)]$	$U(p)$	...	FONCTION (p)

On note $\Delta f(t) = f_p(t) - f_e(t)$ = l'écart entre l'effort appliqué sur la pédale par le conducteur $f_p(t)$ et l'effort qu'il devrait appliquer sur la pédale $f_e(t)$. On rappelle que f_e dépend de θ.

Le cahier des charges impose :

- Un écart en régime établi $\Delta f_1 = \lim_{t \to \infty} \Delta f < 0,1 F_0$ pour une variation en rampe de l'effort sur la pédale $f_{p1}(t) = F_0 \cdot t \cdot \Upsilon(t)$ où $\Upsilon(t)$ représente l'échelon unitaire.

- Un temps de réponse à 5%, $t_{r(5\%)} < 200$ ms vis-à-vis d'une variation en échelon de l'effort $f_p(t)$ appliqué par le conducteur sur la pédale $f_{p1}(t) = F_0 \cdot \Upsilon(t)$.

Hypothèse : l'effort de rappel développé par le ressort sera négligé devant l'effort appliqué par le conducteur. Prendre $\beta = 0$.

VI.A - Mise en place du modèle dynamique

Q.14) À partir du schéma bloc exprimer :

- $I(p)$ en fonction de $U(p)$ et $\Omega_m(p)$;
- $\Omega_m(p)$ en fonction de $I(p)$ et $F_p(p)$;
- $\Theta(p)$ en fonction de $\Omega_m(p)$.

En déduire le système d'équations différentielles :

$$\frac{di(t)}{dt} = g_1(i(t), \omega_m(t), u(t))$$

$$\frac{d\omega_m(t)}{dt} = g_2(i(t), f_p(t))$$

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = g_3(\omega_m(t))$$

(on considérera les conditions initiales nulles)

Q.15) Pour une force à la pédale f_{p0} supposée constante et pour un écart d'effort mesuré $\Delta f_0 = 0$ déterminer les relations existant entre les valeurs $\theta = \theta_0$, $\omega_m = \omega_0$, $i = i_0$ et $u = u_0$ en régime permanent.

VI.B - Linéarisation des équations

On note par la suite le régime de variations

$f_p = f_{p0} + f_{p1}$, $\Delta f = \Delta f_0 + \Delta f_1$, $\theta = \theta_0 + \theta_1$, $\omega_m = \omega_0 + \omega_1$, $i = i_0 + i_1$ et $u = u_0 + u_1$ où les termes f_{p_1}, Δf_1, θ_1, ω_1, i_1 et u_1 représentent les petites variations des différentes grandeurs autour de leur régime permanent.

Q.16) Linéariser les trois équations déterminées à la question Q.14 et les écrire sous la forme :

$$\frac{di_1(t)}{dt} = g_1'(i_1(t), \omega_1(t), u_1(t))$$

$$\frac{d\omega_1(t)}{dt} = g'_2(i_1(t), f_{p1}(t))$$

$$\frac{d\theta_1(t)}{dt} = g'_3(\omega_1(t))$$

Q.17) En remarquant sur la figure 7 que $fe(\theta)$ n'est pas linéaire, linéariser l'expression $\Delta f = f_p - f_e(\theta)$ autour de $\Delta f_0 = 0$ et θ_0. Écrire la relation obtenue sous la forme $\Delta f_1 = f_{p1} - G \cdot \theta_1$. Exprimer G en fonction de $f_e(\theta_0)$, $f'_e(\theta_0)$ et θ_0.

VI.C - Mise en place du schéma-bloc modélisant l'asservissement de l'écart entre l'effort appliqué par le conducteur sur la pédale et l'effort qu'on souhaite lui faire ressentir.

Q.18) Montrer que l'expression de l'écart d'efforts $\Delta F_1(p)$ peut s'écrire $\Delta F_1(p) = H_1(p) \cdot U_1(p) - H_2(p) \cdot F_{p1}(p)$. Exprimer $H_1(p)$ et $H_2(p)$ en fonction des paramètres du modèle.

Le schéma bloc de la chaîne d'asservissement de l'écart d'effort ΔF_1 est représenté sur la figure 9 où $R(p)$ est la fonction de transfert du régulateur. On appelle ΔF_c la consigne de cet asservissement.

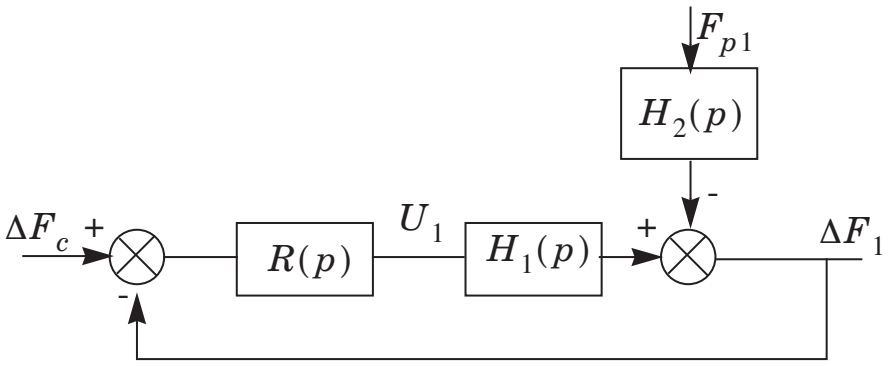


Figure 9 : schéma bloc de la chaîne d'asservissement

Pour la suite, on adopte les expressions suivantes :

$$H_1(p) = \frac{8}{p(1 + p/83)(1 + p/8917)} \text{ et } H_2(p) = \frac{0,86(1 + p/73)(1 + p/5)}{p(1 + p/83)}$$

VI.D - Synthèse du régulateur permettant de respecter le cahier des charges

Analyses préliminaires.

Q. 19)

a) Quelle est la valeur de la consigne ?

b) Déterminer la fonction de transfert $\frac{\Delta F_1(p)}{F_{p1}(p)}$ que vous exprimerez en fonction des fonctions de transfert $H_1(p)$ et $H_2(p)$ de la boucle de régulation.

c) Le signal de perturbation F_{p1} étant une rampe $f_{p1}(t) = F_0 \cdot t \cdot \Upsilon(t)$ où $\Upsilon(t)$ représente l'échelon unitaire, déterminer la condition que doit vérifier le régulateur afin que $\lim_{t \to \infty} \Delta f_1(t) = 0$.

d) Avec un tel régulateur, quelle est la valeur de la phase de la FTBO quand $\omega \to 0$. Justifier alors la difficulté d'utiliser ce régulateur.

Synthèse d'un régulateur P.I.

L'objet de cette partie est de déterminer les paramètres d'un régulateur P.I. de fonction de transfert

$R(p) = K\left(1 + \frac{1}{T_i p}\right)$ permettant d'assurer les performances suivantes :

- une marge de phase : $M\varphi \geq 45°$;
- un écart en régime permanent $\lim_{t \to \infty} |\Delta f_1| < 0,1 \text{ volt}$ en réponse à une variation en rampe de l'effort sur la pédale $f_{p1}(t) = F_0 \cdot t \cdot \Upsilon(t)$;
- un temps de réponse à 5%, $t_{r(5\%)} < 200 \text{ ms}$ vis-à-vis d'une variation en échelon de l'effort $f_p(t)$ appliqué par le conducteur sur la pédale $f_{p1}(t) = F_0 \cdot \Upsilon(t)$.

Q. 20)

a) Dans le cas où $R(p) = 1$, préciser la fonction de transfert en boucle ouverte. Puis, vérifier les diagrammes de Bode fournis en annexe 1, en traçant sur cette annexe 1 les diagrammes asymptotiques de gain et de phase de cette fonction de transfert en boucle ouverte. Préciser sur cette annexe les valeurs remarquables.

b) Déterminer la condition vérifiée par K et T_i permettant de respecter l'écart en régime permanent en réponse à une variation en rampe de l'effort sur la pédale $f_{p1}(t) = F_0 \cdot t \cdot \Upsilon(t)$ avec $F_0 = 10 \text{ V} \cdot \text{s}^{-1}$.

c) En prenant $Ti = 0,2 \text{ s}$ préciser la valeur de K vérifiant les conditions précédentes.

d) Tracer les diagrammes asymptotiques de gain et de phase du correcteur ainsi déterminé.

e) À partir du diagramme asymptotique du gain du correcteur et du diagramme de Bode de la FTBO non corrigée (annexe 1), déterminer la pulsation de coupure à $0dB$ de la FTBO corrigée.

f) Pour cette valeur de la pulsation, calculer la phase du correcteur. En déduire la marge de phase. Conclure.

Vérification du temps de réponse vis-à-vis d'une variation en échelon de l'effort de pédale.

Q. 21)

a) En reprenant la fonction de transfert $\frac{\Delta F_1(p)}{F_{p1}(p)}$ déterminée à la question Q.19, montrer par un raisonnement fréquentiel :

$$\left\| \frac{\Delta F_1}{F_{p1}} \right\| = \|H_2(p)\| \cdot min\left(1; \frac{1}{\|R(p)H_1(p)\|}\right) \text{ avec } p = j\omega .$$

b) En utilisant le tracé asymptotique du diagramme de Bode du gain de la fonction $\frac{1}{\|R(p)H_1(p)\|}$ donné en annexe 2, déterminer l'expression de $min\left(1 ; \frac{1}{\|R(p)H_1(p)\|}\right)$.

En déduire l'expression de $\frac{\Delta F_1(p)}{F_{p1}(p)}$.

Q. 22)

a) Au regard de la fonction de transfert $\frac{\Delta F_1(p)}{F_{p1}(p)}$, déterminer le pôle dominant et en déduire que le comportement du système d'entrée $F_{p1}(p)$ et de sortie $\Delta F_1(p)$ peut être considéré comme régi par la fonction de transfert $\frac{\Delta F_1(p)}{F_{p1}(p)} = \frac{K_f \cdot p}{1+\tau p}$. Préciser les valeurs de K_f et τ.

b) Donner l'expression analytique de la réponse temporelle $\Delta f_1(t)$ à un échelon de perturbation d'amplitude F_0. Tracer l'allure de la réponse.

c) Préciser la valeur initiale de $\Delta f_1(t=0)$ et l'instant pour lequel $|\Delta f_1(t)| < |0,05 \cdot \Delta f_1(t=0)|$.

d) Conclure par rapport au temps de réponse $t_{r(5\%)}$ imposé par le cahier des charges.

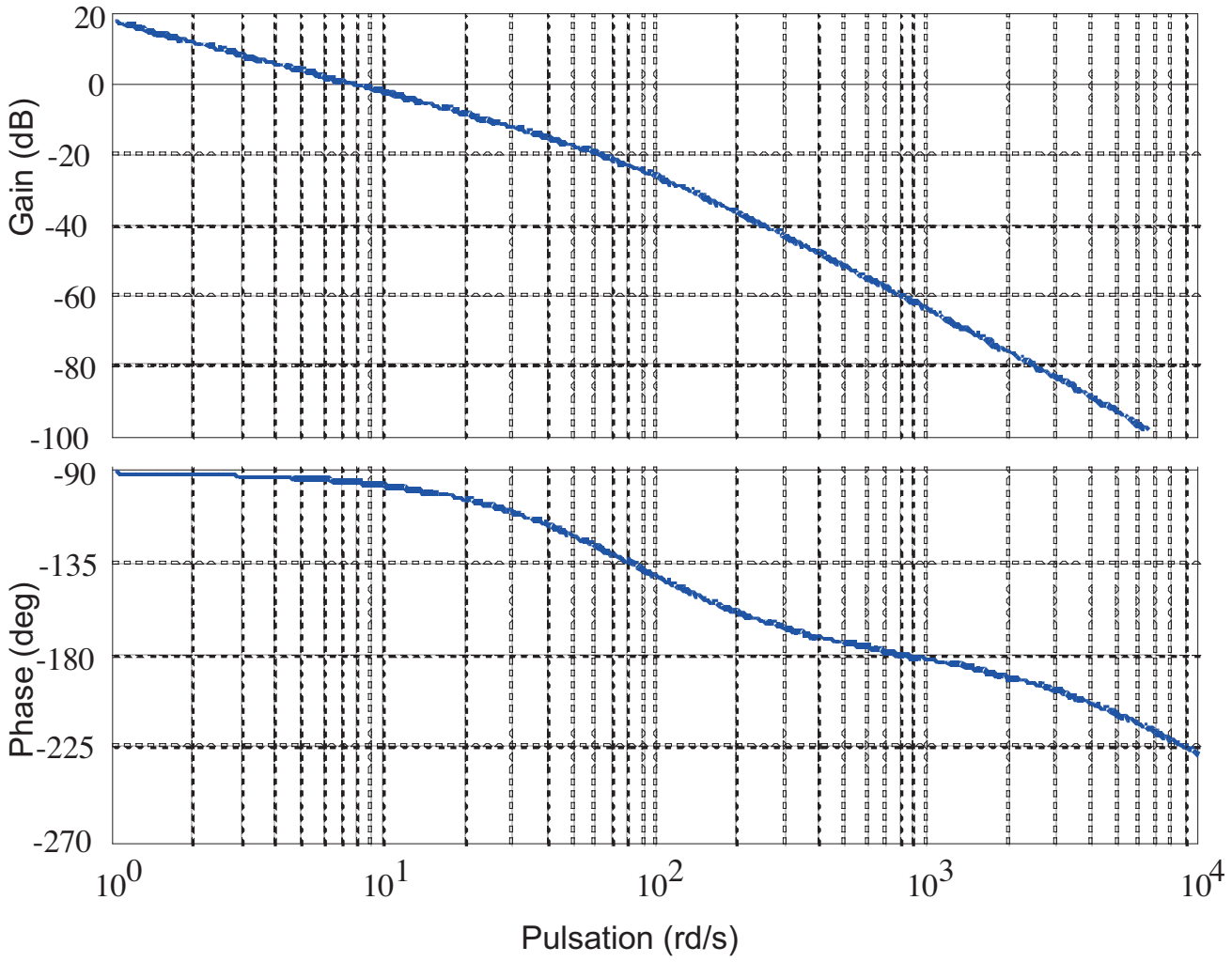
••• FIN •••

Annexe du sujet de Sciences Industrielles pour l'Ingénieur

Cette annexe doit être rendue avec les autres copies. Il ne pourra pas être délivré d'autres exemplaires de ce document.

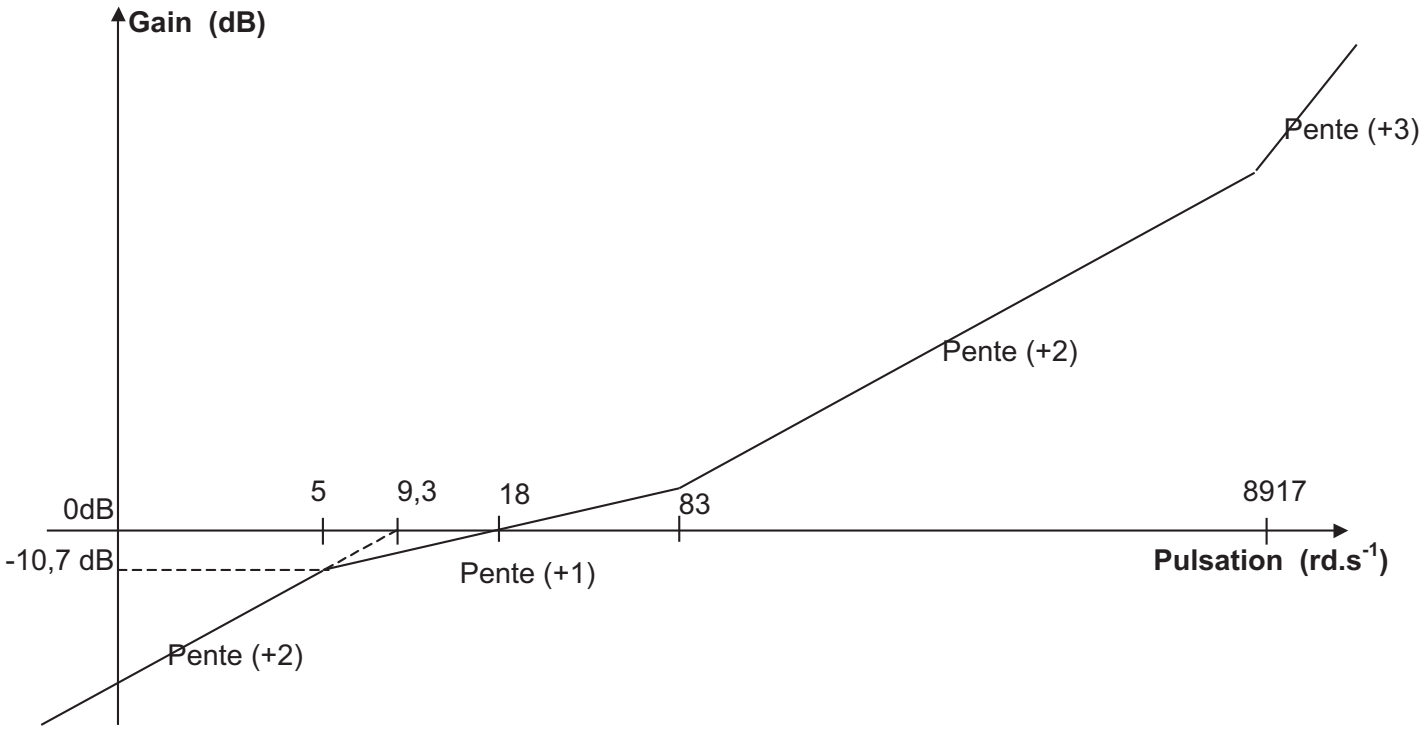
Annexe 1 : Diagrammes de Bode en boucle ouverte non corrigée

Réponse à la question Q. 20 a)



Annexe 2 : Diagramme de Bode du gain

Réponse à la question Q. 21 b)



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
- Énergétique : puissances, théorème de l'énergie cinétique, rendement
- Cinématique des mécanismes : composition des mouvements, contact ponctuel, lois entrée-sortie et fermetures
- Modélisation des liaisons, graphe des liaisons et schéma cinématique
- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage
- Simplification d'un modèle : linéarisation, non-linéarités, pôles dominants, validité
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité
- Correction des systèmes asservis : correcteurs P, PI et à avance de phase

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/centrale/mp