

DATE			HEURE DÉBUT	HEURE FIN
22	11	22	8 h 10	10 h 10

CLASSE	MPSI
--------	------

matière	S.I.I.
---------	--------

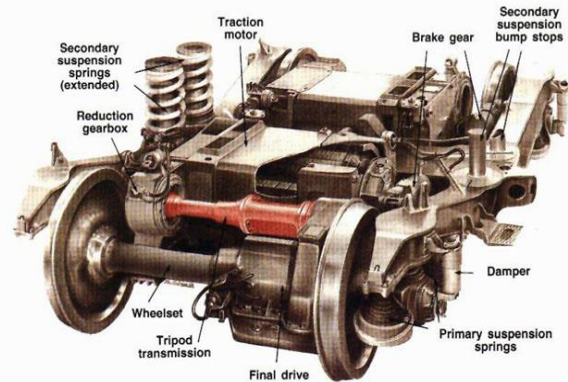
professeur	LILLONI (casier 169)
------------	----------------------

CONSIGNES	Calculatrice	OUI	
	Documents		NON
	- Sorties aux toilettes de 5 min maximum autorisée à partir de 9h15, en nombre limité. - Les étudiant·e·s ne doivent pas être en possession d'un téléphone portable ou d'une montre connectée. Montre autorisée si déposée sur la table ! - Pas de pochette ou trousse. - Sortie définitive autorisée à partir de 10min avant la fin prévue. - Seul le Document-réponse est à rendre (pas de copie). - Si l'espace prévu pour une réponse n'est pas suffisant, il est possible d'écrire à la fin du document réponse. - L'usage d'un document réponse ne dispense pas d'un certain soin dans la présentation qui peut faire l'objet d'un retrait de point allant jusqu'à -2pts. - Inscrire votre nom sur chaque feuille utilisée.		

Asservissement en roulis d'une voiture de TGV

Partie I : Description fonctionnelle de la pendulation

Pour assurer le confort du passager lorsque le train aborde une courbe, il faut non seulement filtrer les irrégularités des voies (grâce aux suspensions primaires et secondaires) mais également limiter la sensation physique due à l'accélération centripète. L'effet de la courbe sur le passager peut être compensé par le dévers de la voie qui rehausse le rail extérieur relativement au rail intérieur.



Sur les voies dédiées spécifiquement aux TGV, les dévers sont suffisants pour assurer le confort du passager. Ils correspondent aux rayons de courbe pour la vitesse de circulation maximale.

Par contre le réseau classique admet un dévers insuffisant pour effacer les effets ressentis par le voyageur dans un virage abordé à grande vitesse. Pour compenser cette insuffisance, en plus du dévers de voie, il devient nécessaire d'incliner la caisse de la voiture transportant le passager, c'est la pendulation. Ce système est indispensable pour permettre l'accès des TGV au réseau classique.

On se propose d'étudier le système de pendulation développé par GEC Alstom pour le TGV (voir figures a et b). L'anneau de circulation est suspendu sur une traverse pendulaire. Celle-ci est suspendue au bogie grâce à deux bielles L1 et L2, dont le mouvement de rotation en roulis est libre afin de ne pas empêcher son inclinaison. Un vérin hydraulique placé entre le châssis du bogie et la traverse pendulaire permet de régler l'inclinaison des voitures et d'augmenter ainsi le dévers.

L'actionneur utilisé dans ce système de pendulation active est un vérin hydraulique unique double effet piloté par une servo-valve.

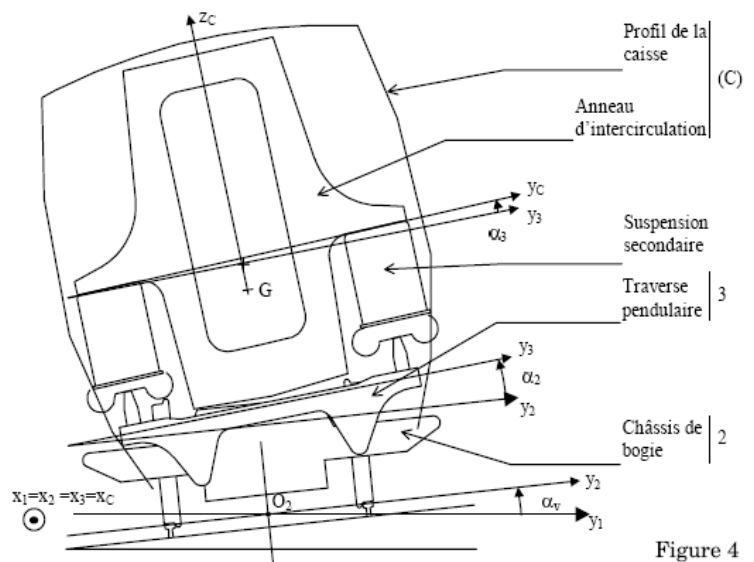


Figure 4

Figure a : système de pendulation + caisse de TGV

Le but de l'étude est de caractériser l'asservissement en position angulaire de l'ensemble {traverse pendulaire, caisse de la voiture}. La consigne de position angulaire à obtenir est calculée à partir d'informations provenant de capteurs (accéléromètres ...) implantés sur les différentes voitures du train. La gestion de ces informations n'est pas abordée dans l'étude proposée.

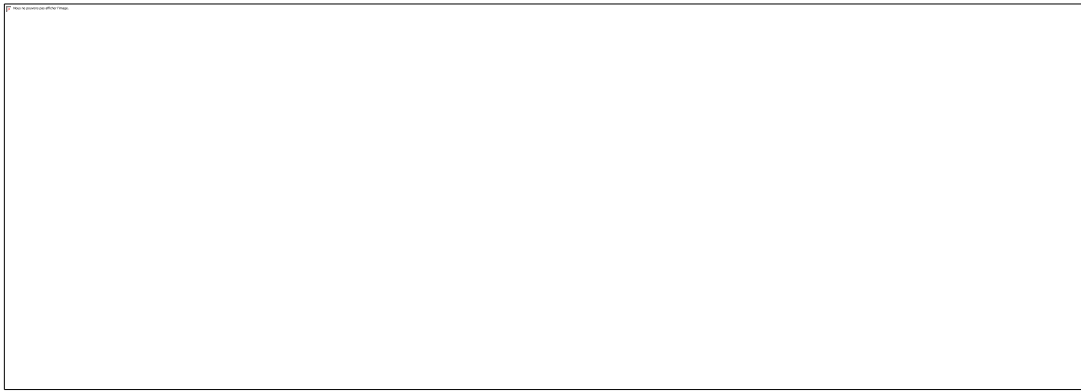


Figure b : biellettes + vérin constituant le système pendulaire

La figure ci-dessous représente le schéma de principe retenu pour l'installation.

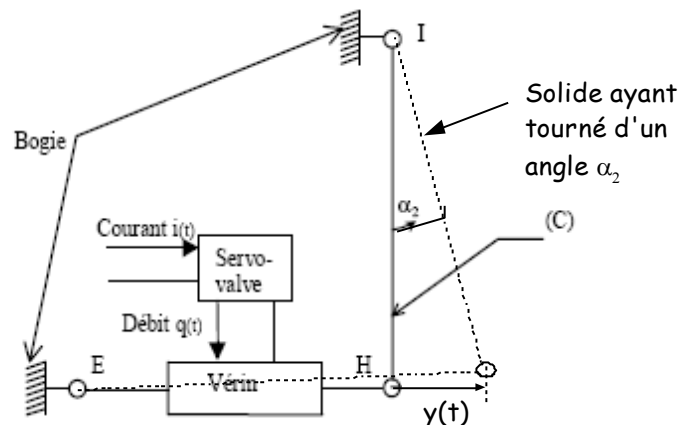


Figure c : principe de la pendulation

Le principe de fonctionnement est le suivant :

- La charge à déplacer est la caisse de la voiture pendulée qui est modélisée par un solide (C). Ce solide (C) est en mouvement de rotation autour du point I avec le bogie fixe du banc d'essai.
- La servo-valve est un organe commandé par un courant $i(t)$ et permet d'obtenir un débit d'huile $q(t)$ proportionnel au courant d'alimentation. Ce débit $q(t)$ correspond à l'alimentation d'un vérin double effet (actionneur du système). Le vérin développe une force $F(t)$ qui va permettre de mettre en rotation la charge (C). On note $y(t)$ le déplacement horizontal de la tige du vérin (ou de la charge) par rapport à la position médiane.
- Un capteur de position permet de connaître la position $y(t)$ de la tige du vérin par rapport au corps de vérin. Il délivre une tension $ur(t)$.
- Un convertisseur fournit une tension $ue(t)$ à partir de la consigne de position $y_c(t)$.
- Un correcteur permet d'élaborer une tension de commande $u(t)$ à partir de l'écart en tension $\varepsilon(t) = ue(t) - ur(t)$ qui, via un convertisseur tension-courant, génère le courant $i(t)$ qui alimente la servo-valve

Question 1 : Donner le schéma fonctionnel permettant de décrire le dispositif d'asservissement de la position $y(t)$ de la tige de vérin à la position de consigne $y_c(t)$. Préciser les noms des composants de chaque bloc ainsi que les grandeurs physiques intermédiaires et leur unité.

Le solide C tourne autour du point I d'un angle α_2 . La longueur $IH = R$ est constante tandis que la longueur EH est variable (à cause du mouvement de la tige du vérin). On peut faire l'hypothèse que EH reste horizontal quelle que soit la valeur de y .

On fait l'hypothèse que y et α_2 sont petits : on peut alors montrer que cette relation devient :

- $y(t) = R \alpha_2(t)$ (relation notée (1)).

L'étude de l'asservissement en position angulaire du solide (C) revient donc à l'étude de l'asservissement en position de la tige de vérin.

Partie II : Modélisation du vérin et de sa charge

- Le débit $q(t)$ délivré par la servo-valve et entrant dans le vérin est relié à la pression $\sigma(t)$ existant dans le vérin par la relation : $q(t) = 2Sv(t) + \frac{V_0}{b} \frac{d\sigma(t)}{dt}$ (2)
avec les constantes S : section du vérin, V_0 : demi-volume du vérin, b : compressibilité de l'huile
- L'effort $F(t)$ développé par le vérin est lié à la pression utile dans le vérin : $F(t) = S\sigma(t)$ (3)
- Le mouvement $\alpha_2(t)$ du solide C est déterminé par la relation :
 $J \frac{d^2\alpha_2(t)}{dt^2} = RF(t) - \mu\alpha_2(t)$ (4)
où les constantes sont J (moment d'inertie), μ (raideur de couple)
- On a également les relations suivantes :
 $v(t) = \frac{dy(t)}{dt}$ (5) (vitesse) et $\gamma(t) = \frac{dv(t)}{dt}$ (6) (accélération)

On notera par des majuscules les transformées de Laplace de chaque variable dépendant du temps, on suppose les conditions initiales nulles.

Question 2 : Passer les équations (1) à (6) dans le domaine de Laplace.

N.B. : Quelques majuscules des lettres grecques :

Nom	minuscule	Majuscule
Alpha	α	A (ou α)
Gamma	γ	Γ
sigma	σ	Σ

Question 3 : Montrer qu'à partir des équations précédentes, on peut écrire :

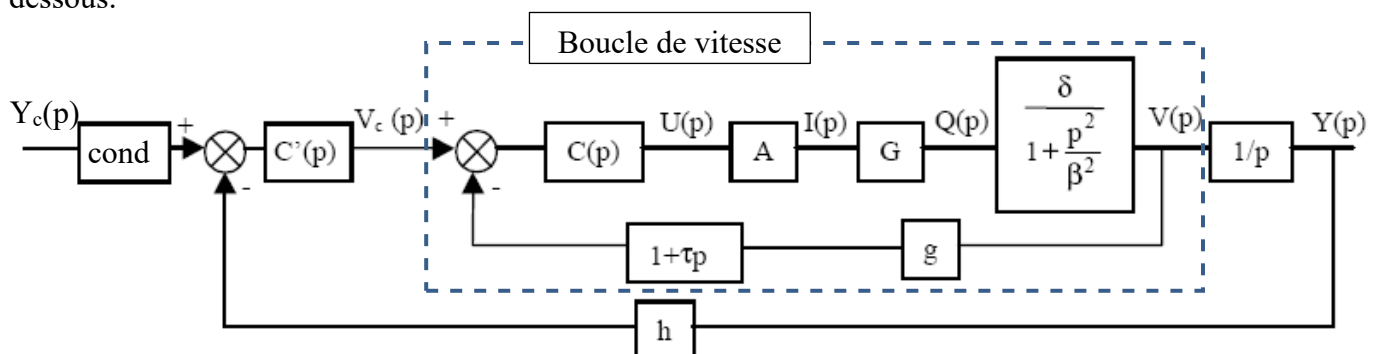
$$\Gamma(p) = \frac{R^2}{J} (F(p) - \frac{\mu}{R^2} Y(p))$$

Question 4 : Compléter le schéma bloc représentant les équations de comportement du vérin. Ce schéma admet $Q(p)$ comme entrée et $Y(p)$ comme sortie. Préciser la transmittance de chaque bloc ainsi que les signes des entrées des comparateurs.

Partie III : Amélioration des performances

On peut alors modéliser le comportement du vérin et de l'asservissement de position dans lequel il se trouve.

Afin d'améliorer les performances du système, on envisage une architecture composée d'une boucle de vitesse et d'une boucle de position. Le système peut alors se ramener au schéma-bloc de la figure ci-dessous.



On s'intéresse dans un premier temps à la correction de la **boucle de vitesse** (cadre en pointillés : entrée $V_c(p)$, sortie : $V(p)$). Le schéma ci-dessus montre que cette correction est réalisée par l'ensemble constitué d'un correcteur proportionnel $C(p) = K$ et d'un terme $1 + \tau p$ placé en aval du capteur de vitesse. L'objectif est de déterminer K et τ de façon à avoir un système bien amorti et rapide.

Question 5 : En déduire la fonction de transfert en boucle fermée : $H_2(p) = \frac{V(p)}{V_c(p)}$

Question 6 : Mettre $H_2(p)$ sous la forme canonique d'un second ordre.

Question 7 : En déduire les expressions de K_2 gain de H_2 , z coefficient d'amortissement et ω_0 pulsation propre non amortie (préciser leur unité) en fonction de K , A , G , g , δ , τ et β .

Question 8 : Faire l'application numérique en exprimant les constantes en fonction de K et τ .

On utilisera les valeurs suivantes : $A \cdot G = \frac{1}{300} m^3 \cdot s^{-1} \cdot V^{-1}$; $g = 10 V \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$; $\delta = 28.1 m^{-2}$; $\beta = 77 rad \cdot s^{-1}$

Un dépassement de 5% correspond à une valeur de $z = 0.7$. Pour cette valeur, le système est considéré le plus rapide. On souhaite également obtenir une valeur de temps de réponse à 5% de 0.017s.

Question 9 : En utilisant l'abaque du temps de réponse réduit Tr ($Tr = t_{5\%} \cdot \omega_0$) en fonction de z et les expressions précédentes, en déduire les valeurs numériques de K et τ qui permettent d'obtenir un système performant comme défini précédemment.

Dans la suite, on notera la fonction de transfert $H_2(p) = \frac{a_0}{1+b_1p+b_2p^2}$ On suppose que $C'(p) = 1$ et que $cond(p) = h$

Question 10 : Exprimer l'écart $\varepsilon_p(p) = Y_c(p) - Y(p)$ en fonction de la consigne $Y_c(p)$, $H_2(p)$, h et p .

Question 11 : En déduire l'écart statique pour une entrée échelon de valeur $y_c(t) = y_0 u(t)$ (où $u(t)$ est l'échelon unité). Que peut-on en déduire sur la boucle d'asservissement en position ?

Partie IV : Analyse des résultats expérimentaux

Des essais expérimentaux sur le vérin ont permis d'obtenir la courbe donnée sur le document-réponse. Cet essai correspond à une entrée en échelon de $30 \text{ mm} \cdot s^{-1}$ de consigne pour $v_c(t)$. La courbe indique les valeurs mesurées pour $v(t)$. On se propose donc de déterminer la fonction de transfert $H_2(p) = \frac{V(p)}{V_c(p)}$ de manière expérimentale.

Question 12 : Expliquer en quoi cette réponse correspond à celle d'un système du deuxième ordre.

Question 13 : Rappeler les formules du cours des premier dépassement relatif D_1 et de la pseudo période T .

Question 14 : A partir de relevés à faire apparaître sur la courbe, déterminer les 3 paramètres canoniques de cette fonction de transfert.

Question 15 : Exprimer alors cette fonction de transfert sous forme littérale puis numérique.