

0.1 DM du ski

Exercice 1 - Suspension de camion

Adapté du sujet X-ENS PSI 2016

Corrigé page 7

A. Présentation

Le transport par la route reste aujourd'hui un moyen de transport rapide et très flexible. Les enjeux économiques sont importants. Aussi bien dans la phase de vie de chargement que dans la phase de vie de roulage, la suspension des camions a un rôle important et son action doit répondre à un certain nombre d'exigences. Le sujet permet d'évaluer les atouts d'une suspension pneumatique pilotée tout en cherchant les capacités maximales qu'il ne faut pas dépasser.

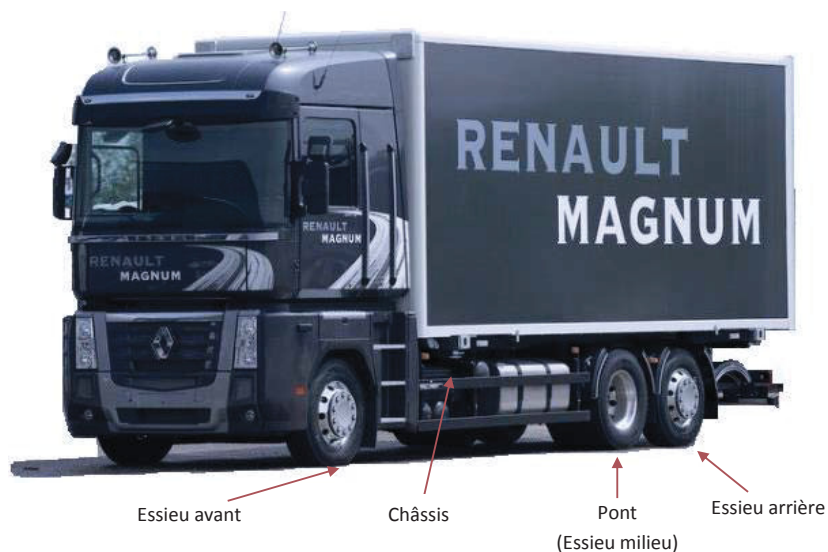


FIGURE 0.1.1 – Présentation des constituants

La suspension ECS (Electronically Controlled Suspension) étudiée est celle d'un camion porteur 6x2 Renault Truck. Le PTAC (Poids Total Autorisé en Charge) de ce véhicule est de 26 tonnes.

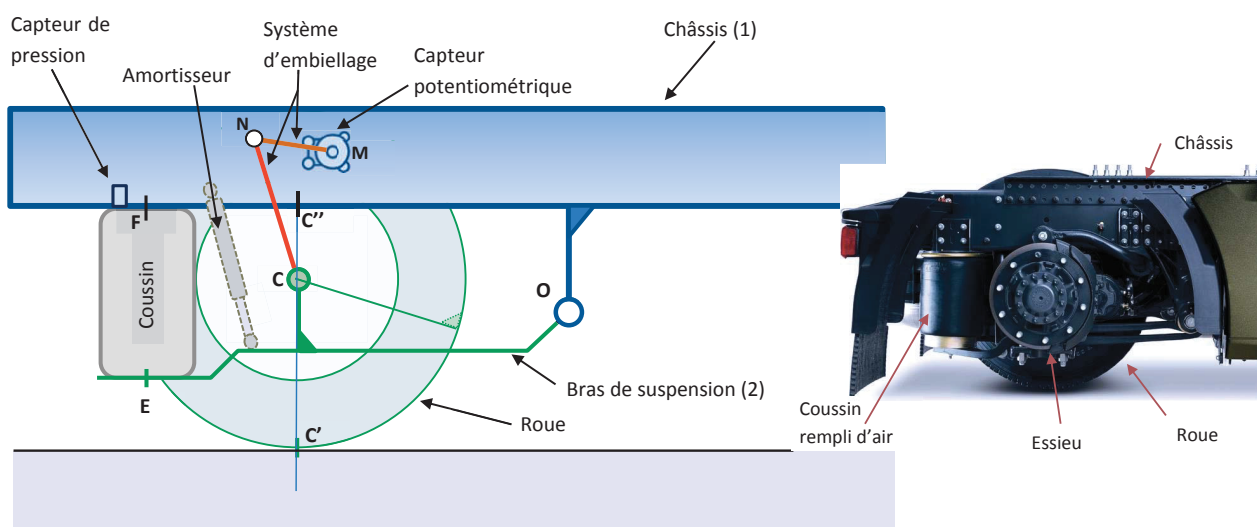


FIGURE 0.1.2 – Vue schématique d'un essieu équipé d'une suspension pneumatique ECS

A.1. Fonction principale de la suspension

La suspension assure la liaison élastique entre le châssis et les essieux. Elle permet principalement d'atténuer les accélérations verticales dues aux variations de profil de la chaussée, contribuant ainsi à l'amélioration du confort et à une meilleure tenue de route.

La suspension étudiée ici est une suspension pneumatique : cette fonction est assurée par des coussins d'air associés à des amortisseurs montés sur chaque roue.

A.2. Fonctions du système ECS

Les fonctions principales du système ECS sont :

- permettre de régler et de réguler la hauteur entre le châssis et le sol ;
- permettre de régler et de réguler la répartition de charge entre les différents essieux ;
- permettre à l'utilisateur de relever ou descendre l'essieu arrière.



B. Gestion du niveau (étude simplifiée)

L'objectif de cette partie est d'évaluer la capacité du système à régler et réguler la distance châssis-sol (hauteur du châssis).

Lors du chargement du camion à quai, il est souvent nécessaire d'ajuster la hauteur du châssis de manière à pouvoir charger rapidement les marchandises avec un transpalette. Les temps de chargement et déchargement étant des périodes qui coûtent cher aux entreprises de transport, un système de régulation de la hauteur du châssis est installé sur la suspension du véhicule.

L'asservissement de niveau peut être décrit par le schéma fonctionnel de la figure 0.1.3.

Le déplacement vertical du châssis du camion est réalisé par 6 coussins qui sont remplis par une électrovanne. La position verticale du châssis est mesurée par un capteur.

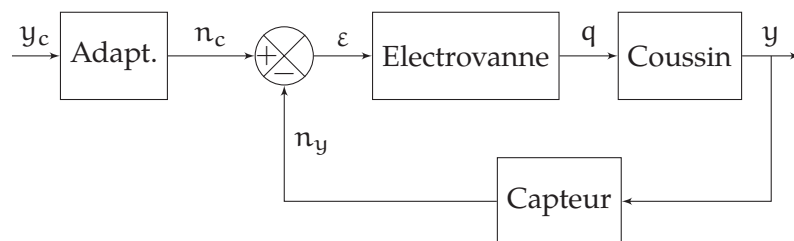


FIGURE 0.1.3 – Schéma fonctionnel de l'asservissement de niveau

B.1. Étude de la phase de mise à niveau

— Modélisation du comportement de gonflage des coussins

Le camion est suspendu sur 6 coussins identiques (figure 0.1.4).

Hypothèses :

- Le fluide est supposé incompressible.
- Les 6 coussins sont gonflés (ou dégonflés) en même temps.

Pour un coussin, on sait que

$$q(t) = S \cdot v(t)$$

- S : la section constante d'un coussin,
- V : le volume d'un coussin,
- $q(t)$: débit total délivré par l'électrovanne aux 6 coussins,
- $y(t)$: position du châssis par rapport au sol,
- $v(t)$: la vitesse de déplacement du châssis par rapport au sol.

Q1. Rappeler la relation entre la vitesse $v(t)$ la vitesse du châssis par rapport au sol et $y(t)$ la position.

Q2. Déterminer la relation entre $y(t)$ et $q(t)$.

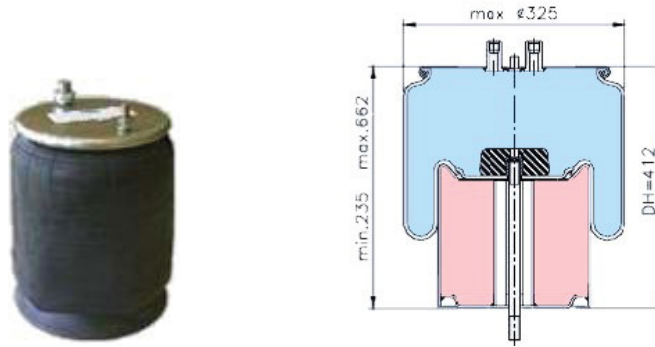
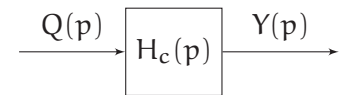


FIGURE 0.1.4 – Coussin

On pose $Y(p)$, $Q(p)$ les transformées de Laplace respectivement de $y(t)$ et $q(t)$. On se place dans les conditions d'Heaviside.

Q3. Écrire la relation précédente dans la domaine de Laplace. En déduire $H_c(p)$, la fonction de transfert traduisant le comportement des coussins.



— **Caractérisation du capteur**

La mesure de la hauteur n'est pas réalisée directement mais au travers :

- d'un mécanisme (figure 0.1.5) composé de deux bielles. Le déplacement vertical du châssis entraîne la rotation de la bielle 4 autour du point M, on note $\varphi(t)$, l'angle de la bielle 4 avec l'horizontale;
- d'un potentiomètre rotatif qui convertit cet angle en une tension $u_\varphi(t)$ comprise entre $-2,5\text{ V}$ et $2,5\text{ V}$;
- d'un convertisseur analogique numérique sur 10 bits dont la sortie numérique $n_y(t)$ est une image numérique de la position $y(t)$.

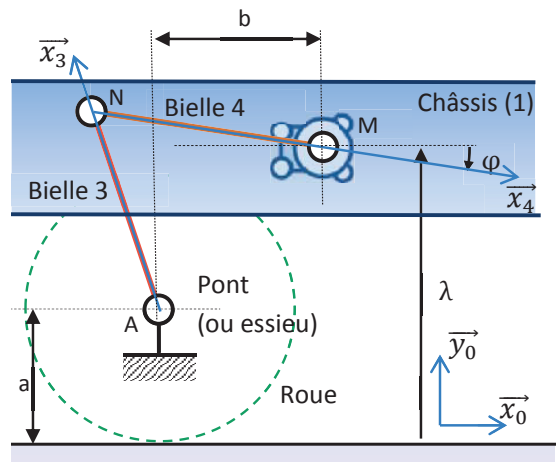


FIGURE 0.1.5 – Mécanisme d'embliage

La chaîne de retour de l'asservissement de niveau, se met donc sous la forme de la figure 0.1.6. On note

$M(p) = \frac{\varphi(p)}{Y(p)}$ la fonction de transfert du mécanisme, $C_{\text{apt}}(p) = \frac{U_\varphi(p)}{\varphi(p)}$ celle du capteur potentiométrique et $C_{\text{onv}}(p)$ celle du convertisseur numérique analogique.

On pose pour $y(t)$ le déplacement du châssis autour de sa position moyenne avec $Y_0 = 0$ pour $\varphi = 0^\circ$.

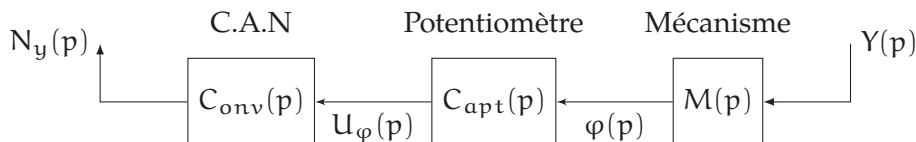


FIGURE 0.1.6 – Chaîne de retour de l'asservissement de niveau

On se propose de déterminer chacun des blocs de cette chaîne.

Mécanisme : Un essai sur la suspension réelle a permis de relever la caractéristique entre la hauteur de l'articulation en M et l'angle que fait la bielle 4 avec l'horizontale. La courbe de la figure 0.1.7, représente $\lambda - a = f(\varphi)$.

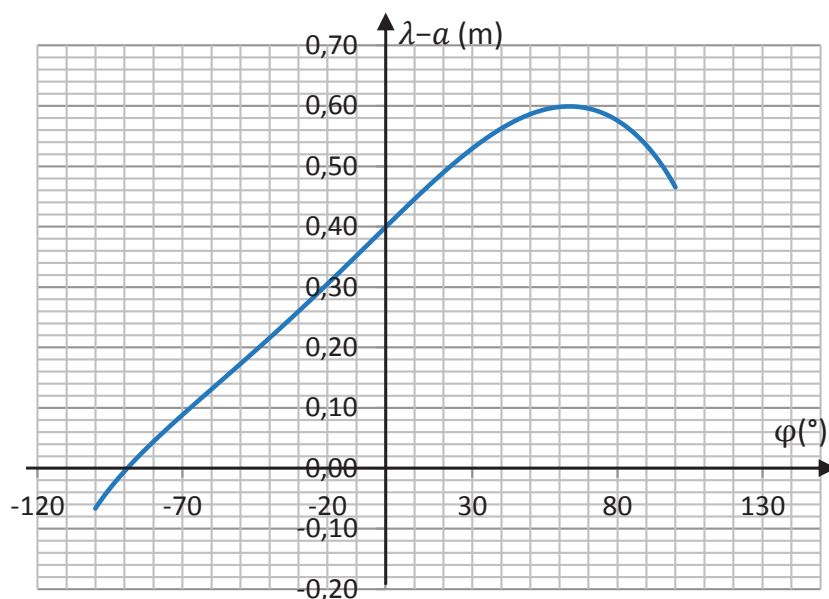


FIGURE 0.1.7 – Caractéristique du mécanisme de mesure de la hauteur

Q4. Dans quelle zone de la caractéristique $\lambda - a = f(\varphi)$, peut-on écrire que $\lambda - a = K_\varphi \cdot \varphi + c$, avec K_φ et c , deux constantes ? Préciser les deux constantes K_φ et c .

Q5. Proposer une fonction de transfert pour $M(p)$.

Capteur potentiométrique : La mesure de la hauteur entre le châssis et l'essieu (ou le pont) est réalisée par un capteur potentiométrique rotatif. Le potentiomètre est réglé de telle sorte que $\varphi = 0^\circ$ pour $y = 0$, pour cette position, la tension délivrée par le potentiomètre est $u_\varphi = 0\text{ V}$ et pour $\varphi = 80^\circ$, la tension délivrée est alors $u_\varphi = 2,5\text{ V}$.

Q6. Déterminer K_{pot} tel que $u_\varphi(t) = K_{\text{pot}} \cdot \varphi(t)$.

Convertisseur numérique analogique : Le convertisseur numérique analogique utilisé est un convertisseur 10 bits, pour une variation de tension u_φ de 5 V à l'entrée, la sortie numérique n_y varie de 0 à la valeur maximale du convertisseur.

Q7. Rappeler combien de valeurs différentes peut générer un convertisseur numérique analogique 10 bits.

Q8. Déterminer K_{can} tel que $n_y(t) = K_{\text{can}} \cdot u_\varphi(t)$.

Q9. À partir des trois relations ci-dessus, déterminer la relation entre $n_y(t)$ et $\lambda(t)$.

La valeur de $y(t)$ est déduite de celle de $\lambda(t)$ après un décalage d'origine tel que $y = 0$ pour $u_\varphi = 0$.

B.2. Étude de l'asservissement de niveau

Finalement, l'asservissement de niveau peut se mettre sous la forme du schéma-blocs de la figure 0.1.8.

On pose $Y_c(p)$, $N_c(p)$, $Q(p)$, $Y(p)$, $\Phi(p)$, $U_y(p)$ et $N_y(p)$ les transformées de Laplace respectivement de $y_c(t)$, $n_c(t)$, $q(t)$, $y(t)$, $\varphi(t)$, $u_y(t)$ et $n_y(t)$.

Quelles que soient les valeurs que vous avez déterminées précédemment, on prendra :

$$K_{\text{cin}} \cdot K_{\text{pot}} \cdot K_{\text{can}} = 1500 \text{ bit/m}, K_v = 0,001 \text{ m}^3/\text{s/bit}, C = 2 \text{ m}^{-2}.$$

Q10. Justifier que pour réaliser un asservissement de niveau, il faut $K_a = 1500$.

Q11. Déterminer, à partir du schéma-blocs, $Y(p)$ en fonction de $Y_c(p)$ et des différents paramètres K_v , K_{cin} , K_{pot} , K_{can} et C .

On pose $H(p) = \frac{Y(p)}{Y_c(p)}$, la fonction de transfert.

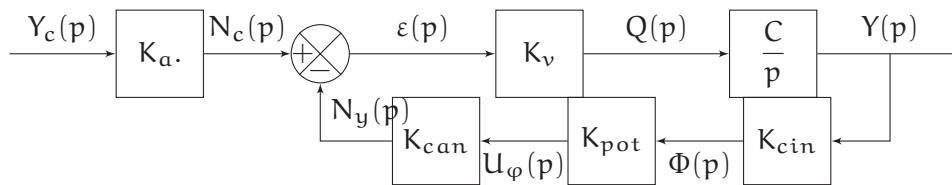


FIGURE 0.1.8 – Schéma bloc de l'asservissement de niveau

Q12. Préciser $H(p)$, mettre la fonction de transfert sous la forme $H(p) = \frac{K}{1 + T \cdot p}$. Déterminer K et T en fonction des paramètres.

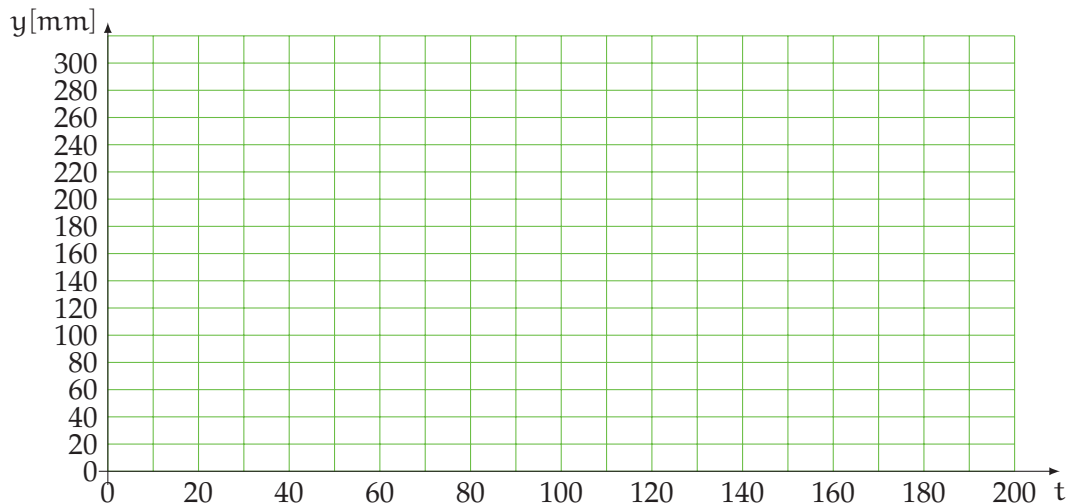
Pour la suite, on prend $H(p) = \frac{1}{1 + 0,33 \cdot p}$.

On souhaite monter le châssis de $Y_0 = 300$ mm, on applique dans la consigne $y_c(t) = Y_0 \cdot \mathcal{H}(t)$ avec $\mathcal{H}(t)$ la fonction de Heaviside.

Q13. Déterminer la transformée de Laplace $Y_c(p)$ de $y_c(t)$.

Q14. En déduire $Y(p)$ puis, à partir du tableau des transformées de Laplace, déterminer $y(t)$.

Q15. Tracer l'allure de $y(t)$, préciser la tangente à l'origine, préciser le temps de réponse à 5 %, préciser l'erreur indicielle.



C. Étude complète

Dans la première partie nous avons fait des hypothèses très simplificatrices, nous avons ainsi supposé que l'air qui remplit les coussins est incompressible et nous n'avons pas pris en compte ni la masse du camion, ni la charge transportée.

La prise en compte de la compressibilité de l'air se traduit par l'équation différentielle suivante

$$q(t) = S \cdot \frac{dy(t)}{dt} + K_2 \cdot \frac{dp(t)}{dt}$$

et l'application de la deuxième loi de Newton au mouvement du châssis par l'équation différentielle suivante :

$$m \cdot \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = F_c(t) - f \cdot \frac{dy(t)}{dt} - F_{ext}(t)$$

$$F_c(t) = p(t) \cdot S$$

- $p(t)$: la pression dans le coussin pneumatique,
- $F_{ext}(t)$: un effort représentatif de la charge,
- $F_c(t)$: l'effort développé par le vérin,

- m : une quantité homogène à une masse, représentative de la masse mobile du camion et de la charge transportée,
- K_2 : un coefficient constant caractéristique du coussin,
- f : le coefficient de frottement fluide.

On se place dans les conditions de Heaviside. On pose, $P(p)$, $F_V(p)$ et $F_{ext}(p)$, les transformées de Laplace de $p(t)$, $F_V(t)$ et $F_{ext}(t)$.

Q16. Traduire dans le domaine de Laplace, les trois équations précédentes.

Sur la figure 0.1.9, le schéma-blocs du système complet (à compléter).

Q17. À partir des équations précédentes, compléter le schéma-blocs en précisant les informations sur les liens (1), (2) et (3).

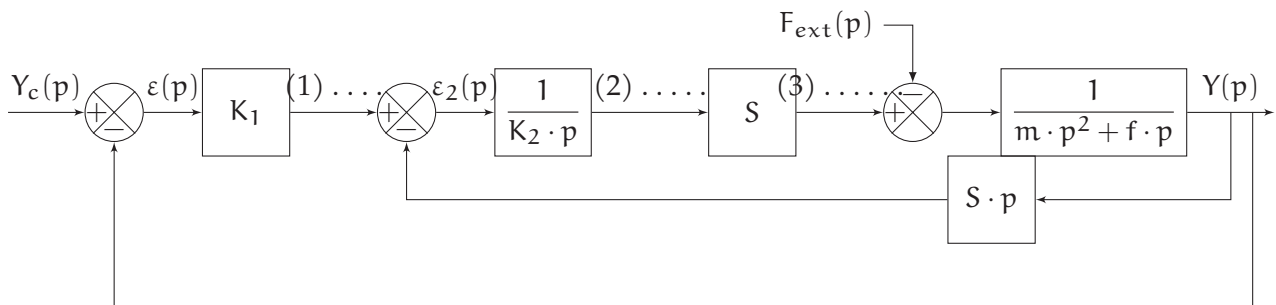


FIGURE 0.1.9 – Schéma-blocs du système complet

Pour la suite, on nomme $D(p)$ le lien (1).

C.1. Phase d'asservissement de niveau

On considère dans un premier temps que l'effort extérieur est nul $F_{ext}(t) = 0$.

On nomme pour la suite $D(p)$ l'information portée par le lien (1) du schéma de la figure 0.1.9.

Q18. Déterminer $Y(p)$ en fonction de $D(p)$.

Q19. Déterminer $D(p)$ en fonction de $Y_c(p)$ et $Y(p)$, puis $Y(p)$ en fonction de $Y_c(p)$.

Q20. En déduire $H_1(p) = \frac{Y(p)}{Y_c(p)}$. Mettre sous forme canonique, préciser l'ordre de la fonction de transfert et le gain statique.

On considère que la valeur choisie de K_1 assure un fonctionnement stable du système.

On soumet le système à un échelon $y(t) = Y_0 \cdot \mathcal{H}(t)$ avec $Y_0 = 30$ cm.

Q21. Déterminer la valeur finale, en déduire l'erreur indicielle.

C.2. Influence de la charge

On considère maintenant que $y_c(t) = 0$.

Q22. Déterminer $\varepsilon_2(p)$ en fonction de $Y(p)$.

Q23. Déterminer $Y(p)$ en fonction de $F_{ext}(p)$ et $\varepsilon_2(p)$.

Q24. En déduire $Y(p)$ en fonction de $F_{ext}(p)$.

Q25. En déduire $H_2(p) = \frac{Y(p)}{F_{ext}(p)}$. Préciser l'ordre de la fonction de transfert.

C.3. Étude complète

Q26. Déterminer $Y(p)$ en fonction de $Y_c(p)$ et $F_{ext}(p)$.

Le châssis étant aligné avec le quai ($Y_0 = 0$), un colis de poids $P = P_0$ est placé sur le châssis.

Q27. Déterminer la position atteinte par le châssis.