



Consignes pour les candidats

Le sujet comporte 8 pages numérotées de 1 à 8. Il s'agit d'un QCM. Entourer clairement la lettre (A, B, C ou D) correspondant à la bonne réponse. Les réponses incorrectes, avec rature, ou illisibles entraineront un retrait de point. Une absence de réponse donnera 0 point pour la question. Les documents de cours sont interdits, les calculatrices autorisées.

PARTIE I : MECANIQUE

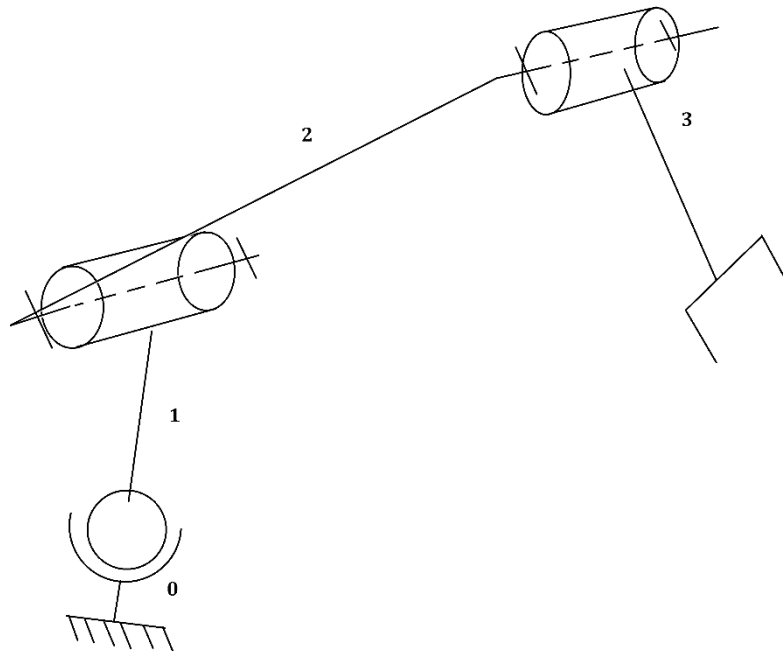


Figure 1 : Schéma de liaisons d'un bras robotisé simulant le comportement du bras chez l'homme

On considère le mécanisme d'un bras robotisé représenté à la figure 1. Il est composé de :

- une base fixe 0 à laquelle on attache un repère fixe au centre de la liaison 0/1 : $(\vec{x}_0; \vec{y}_0; \vec{z}_0)$;
- un bras 1 assimilable à une tige de longueur l_1 , sur laquelle on attache un repère au centre de la liaison 0/1 : $(O; \vec{x}_1; \vec{y}_1; \vec{z}_1)$;
- un bras 2 assimilable à une tige de longueur l_2 , sur laquelle on attache un repère au centre de la liaison 1/2 : $(A; \vec{x}_2; \vec{y}_2; \vec{z}_2)$;
- un bras 3 assimilable à une tige de longueur l_3 , sur laquelle on attache un repère au centre de la liaison 2/3 : $(B; \vec{x}_3; \vec{y}_3; \vec{z}_3)$; O, A et B sont dans le même plan.

1-En supposant la base fixe 0 assimilable à l'omoplate et le bras 3 assimilable au poignet, à quelle condition a-t-on un mécanisme anthropomorphe à 7 degrés de liberté ?

- A-Remplacer la liaison 0/1 par une liaison linéaire annulaire
- B-Remplacer la liaison 2/3 par la liaison présente en 0/1
- C-Remplacer la liaison 1/ 2 par une liaison linéaire annulaire
- D-Autre, préciser :

2-De combien de paramètres angulaires a-t-on besoin pour caractériser une liaison glissière ?

- A-1
- B-2
- C-3
- D-Autre, préciser :

3-En supposant être dans le contexte d'un mécanisme anthropomorphe à 7 degrés de liberté, combien de paramètres angulaires a-t-on besoin pour caractériser complètement le mouvement de 2/1 ?

- A-1
- B-2
- C-3
- D-Autre, préciser :

4-En supposant être dans le contexte d'un mécanisme anthropomorphe à 7 degrés de liberté, combien de paramètres angulaires a-t-on besoin pour caractériser complètement le mouvement de 3/2 ?

- A-3
- B-4
- C-5
- D-Autre, préciser :

5-La tige 1 est encastrée à une sphère pleine de centre O, de rayon r et de masse m_s. Si celle-ci tourne autour de l'axe (O; \vec{x}_1) à la vitesse ω . Que vaut son moment cinétique suivant l'axe (O; \vec{y}_1)?

- A- $\frac{2}{5} m_s \cdot r^2 \omega$
- B- 0
- C- $\frac{4\pi}{3} m_s \cdot r^2 \omega$
- D-Autre, préciser :

On remplace sur la figure 1 la liaison 1/0 par une liaison semblable à celle entre 1 et 2, et on conserve les autres liaisons de la figure. On note θ_i , l'angle de rotation de la tige i par rapport à la tige i-1 suivant l'axe (centre de la liaison i-1/i, \vec{x}_i) pour $i \in \{1; 2; 3\}$ et on ne considère que les mouvements impliquant les θ_i .

6-Les points O, A et B sont dans quel plan ?

- A-(O; \vec{x}_1 ; \vec{y}_2)
- B-(O; \vec{x}_2 ; \vec{y}_3)
- C-(A; \vec{x}_1 ; \vec{y}_3)
- D-Autre, préciser :

7-On met en A, un moteur électrique de rendement 1 pour actionner la tige 2, quelle est la nature de son torseur des actions mécaniques sur la tige 2 ?

- A-glisseur
- B-quelconque
- C-couple
- D-Autre, préciser :

8-On considère la tige 1 fixe par rapport à la base 0. Le moteur électrique actionne à la fois les tiges 2 et 3 à l'aide d'un système courroie de rapport de vitesses $\frac{3}{4}$. Que peut-on dire du rapport entre les diamètres des disques D_2 et D_3 actionnant respectivement les tiges 2 et 3 reliés par la courroie.

A- $D_2 < D_3$

B- $D_3 < D_2$

C- $D_2 = D_3$

D-Autre, préciser :

PARTIE II : AUTOMATIQUE

Une suspension automobile doit vérifier principalement les exigences données sur la figure 1.

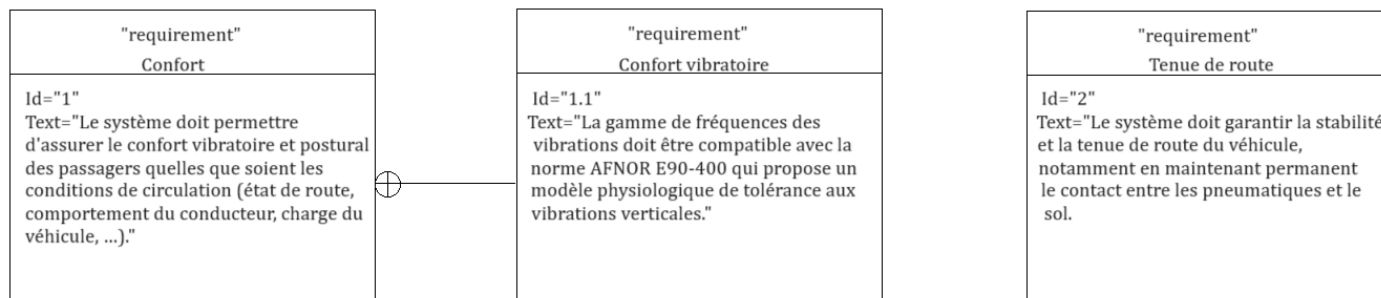


Figure 1 : Diagramme des exigences partiel



Figure 2 : Comportement d'un véhicule en virage sans suspension active (gauche) et avec (droite)

Réaliser une suspension satisfaisante revient à isoler la caisse du véhicule en filtrant les sollicitations vibratoires de la route.

Les paramètres caractéristiques d'une suspension automobile sont la raideur et l'amortissement. Pour une masse de caisse donnée, une **raideur** faible de la suspension permet d'absorber efficacement les irrégularités de la route. Cependant, pour certaines fréquences, des phénomènes de résonance inconfortables nuisent à la tenue de route et à la stabilité du véhicule. L'**amortissement** permet de contrôler ces phénomènes dès leur apparition. L'amortisseur doit freiner simultanément les oscillations de la caisse et celles des roues afin de maintenir ces dernières au contact avec le sol sans trop durcir la suspension.

La société Bose a proposé il y a quelques années un amortisseur actif électrique permettant d'améliorer considérablement le confort dans le véhicule.

Objectif

L'objectif de cette étude est de montrer les problèmes liés aux suspensions classiques passives et de déterminer un réglage possible d'une solution active.

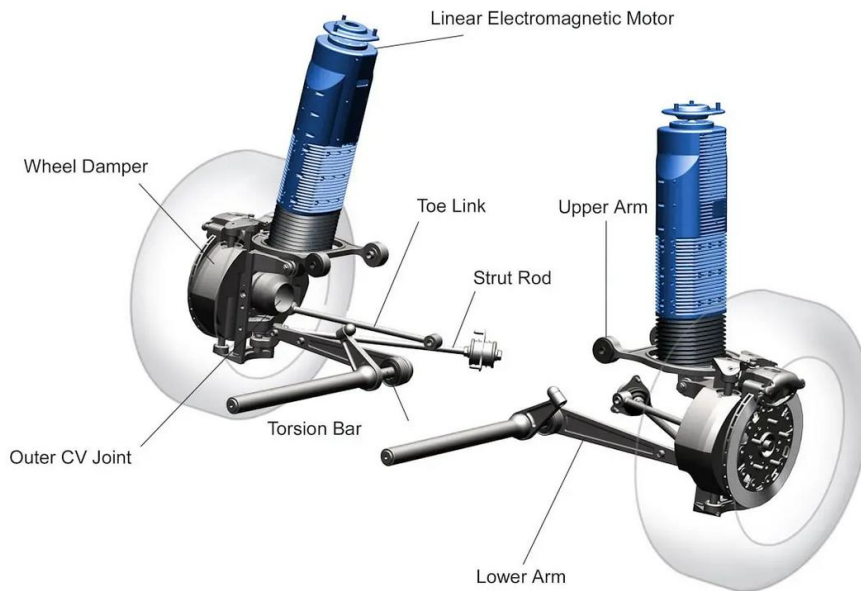


Figure 3 : Implantation des amortisseurs actifs Bose sur chaque roue

Analyser le confort vibratoire

Le corps humain peut tolérer des sollicitations verticales à la fréquence de la marche. La norme AFNOR E90-400 5 Figure 4 propose un modèle de tolérance physiologique aux vibrations verticales. Sur ce graphe, on identifie « la zone de mal des transports » (Zone A), « la zone d'inconfort vibratoire » (Zone B) et la zone de confort (intervalle [0.35 Hz ; 2.25 Hz]).

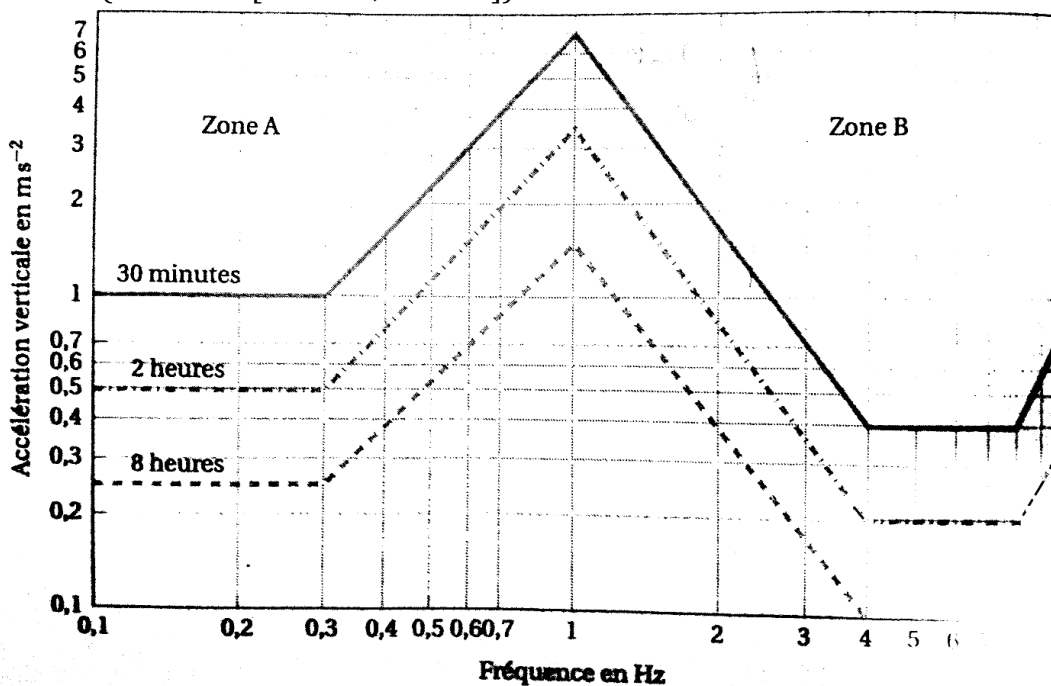


Figure 4 : Diagramme de tolérance aux vibrations du corps humain

1-Quelle est la fréquence que supporte le mieux le corps humain vis-à-vis des accélérations verticales ?

A-0,3 Hz

B-1 Hz

C-4 Hz

D-Autre, préciser :

2-Quelle accélération verticale maximale peut supporter le corps humain, sollicité avec une fréquence comprise entre 4 Hz et 6 Hz pendant 30 minutes, sans être incommodé ?

A-0,1 m.s⁻²

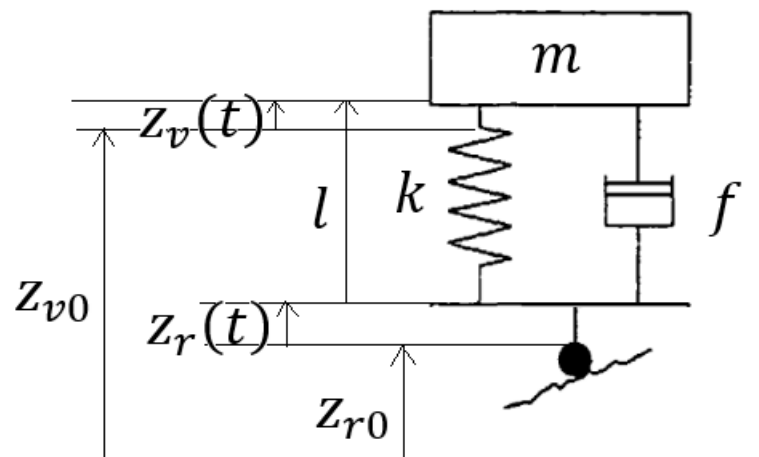
B-0,2 m.s⁻²

C-0,4 m.s⁻²

D-Autre, préciser :

L'étude physiologique montre ainsi qu'il est nécessaire d'éviter les vibrations dans cette gamme de fréquences.

Modéliser la suspension classique passive



L'objectif de cette partie est de déterminer la valeur de la raideur et de l'amortissement pour respecter le confort vibratoire. Pour simplifier l'étude, on considère que la raideur du pneu est négligeable ainsi que la masse de la roue devant celle de la caisse. Cette hypothèse sera validée par la suite. On utilise donc le modèle ci-contre où : $z_r(t)$ correspond à la

variation d'altitude de la route par rapport à la position d'équilibre z_{r0} , $z_v(t)$ la variation d'altitude de la caisse de la voiture par rapport à la position d'équilibre z_{v0} , k la raideur du ressort, f le coefficient d'amortissement de l'amortisseur et m la masse équivalente vue par une roue. La longueur du ressort est alors $l = z_{v0} + z_v - z_{r0} - z_r$ et on notera l_0 la longueur à vide du ressort. L'amortisseur exerce une force résistante égale à $-f \frac{dl}{dt}$. Le principe fondamental de la dynamique appliqué à la masse conduit à

$$m \frac{d^2 z_v}{dt^2} = -k(z_v - z_r) - f \frac{d(z_v - z_r)}{dt} - mg.$$

La masse du véhicule est égale à $4m = 1650 \text{ kg}$ à vide. Lorsque l'on charge le véhicule à l'arrêt sur route plate ($z_r = 0$), les suspensions s'écrasent d'une longueur de 15 mm pour une masse totale du véhicule de 2050 kg. On prendra dans tout l'exercice $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

3-En déduire la valeur de la raideur k en Nm^{-1} .

A-16350

B-32700

C-65400

D-Autre, préciser :

On choisit une valeur d'amortissement couramment rencontrée $f = 1000 \text{ Nsm}^{-1}$. On considère dans la suite une masse $m = 400 \text{ kg}$.

4-La fonction de transfert $\frac{Z_v(p)}{Z_r(p)}$ a au numérateur un polynôme de degré :

A-0

B-1

C-2

D-Autre, préciser :

5-La fonction de transfert $\frac{Z_v(p)}{Z_r(p)}$ a au dénominateur un polynôme de degré :

- A-1
- B-3
- C-5
- D-Autre, préciser :

6-Le numérateur de la fonction de transfert $\frac{Z_v(p)}{Z_r(p)}$ sous sa forme canonique a pour coefficient de monôme de plus haut degré :

- A-1
- B- $\frac{f}{k}$
- C- $\frac{m}{k}$
- D-Autre, préciser :

7-Le dénominateur de la fonction de transfert $\frac{Z_v(p)}{Z_r(p)}$ sous sa forme canonique a pour coefficient de monôme de plus haut degré :

- A-1
- B- $\frac{f}{k}$
- C- $\frac{m}{k}$
- D-Autre, préciser :

Analyser les performances de la solution classique

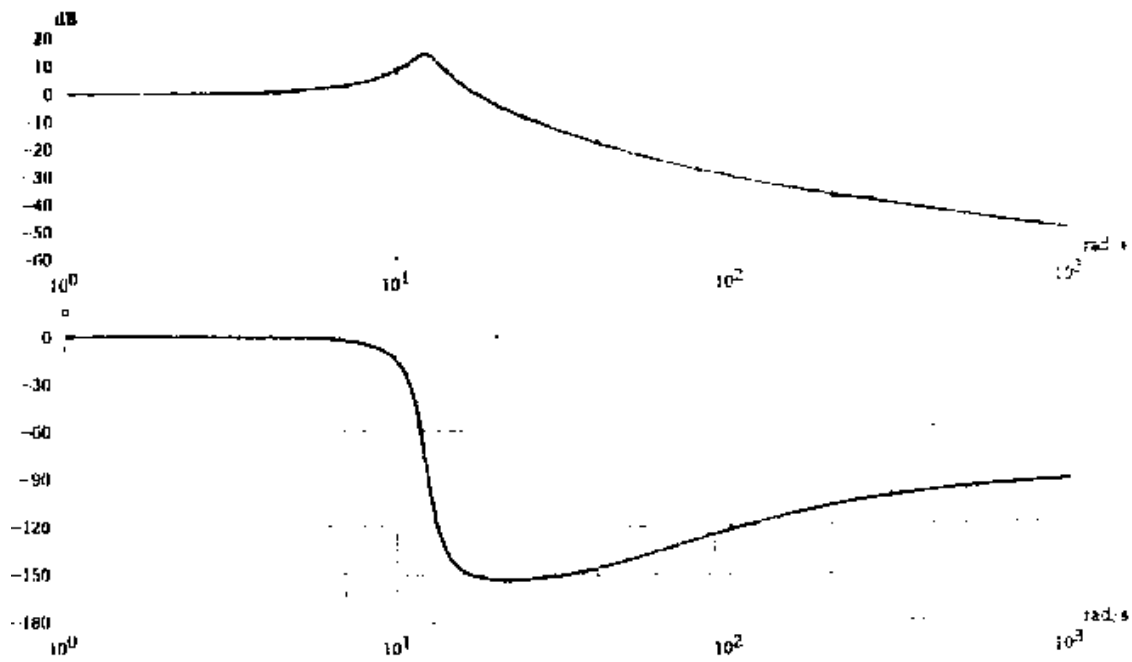


Figure 5 : Diagrammes de Bode d'une suspension simple

On donne sur la figure 5 les diagrammes de Bode réels de cette fonction.

8-On observe une résonance sur la figure autour de :

- A-1 Hz
- B-5 Hz
- C-10 Hz
- D-Autre, préciser :

9-Comment se situe la résonance par rapport à la zone d'inconfort ?

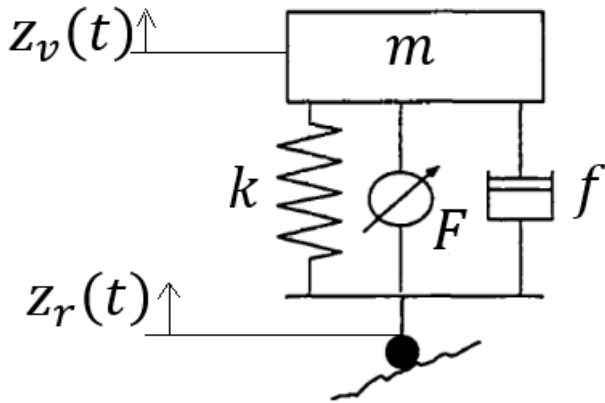
- A-proche

B-loin

C-égale

D-Autre, préciser :

Modéliser : mise en place d'un modèle de suspension active



Le principe de suspension active est de placer en parallèle de la suspension classique un actionneur linéaire qui ajoute un effort pour supprimer la résonance dans la zone problématique. Un accéléromètre est placé sur la caisse du véhicule, celui-ci permet d'estimer l'accélération et la vitesse verticale de la voiture. L'effort ajouté par l'actionneur est alors égal à $F = -C_v \frac{dz_v}{dt}$. On reprend le modèle

simplifié déterminé précédemment. En tenant compte de cette force dans l'équation obtenue par le principe fondamental de la dynamique, on obtient :

$$m \frac{d^2 z_v}{dt^2} = -k_v(z_v - z_r) - f \frac{d(z_v - z_r)}{dt} - C_v \frac{d(z_v)}{dt} - mg$$

10-La fonction de transfert $\frac{Z_v(p)}{Z_r(p)}$ a au numérateur un polynôme de degré :

- A-0
- B-1
- C-2
- D-Autre, préciser :

11-La fonction de transfert $\frac{Z_v(p)}{Z_r(p)}$ a au dénominateur un polynôme de degré :

- A-0
- B-1
- C-2
- D-Autre, préciser :

12-Le numérateur de la fonction de transfert $\frac{Z_v(p)}{Z_r(p)}$ sous sa forme canonique a pour coefficient de monôme de plus haut degré :

- A-1
- B $\frac{f+C_v}{k}$
- C $\frac{m+C_v}{k}$
- D-Autre, préciser :

13-Le dénominateur de la fonction de transfert $\frac{Z_v(p)}{Z_r(p)}$ sous sa forme canonique a pour coefficient de monôme de plus haut degré :

- A-1
- B $\frac{f}{k}$
- C $\frac{m}{k}$

D-Autre, préciser :.....

14-Sur quel paramètre l'actionneur intervient-il ?

A-Le coefficient d'amortissement

B-La pulsation

C-Le gain

D-Autre, préciser :.....

15-Donner la valeur adéquate de C_v pour diminuer la résonance

A-600 N.s.m⁻¹

B-1600 N.s.m⁻¹

C-2600 N.s.m⁻¹

D-Autre, préciser :.....