



# ANALYSE HARMONIQUE DES SLCI

TD

Professeur: Y.FARTOUH

v1.2

CPGE - MARRAKECH

## SUSPENSION AUTOMOBILE ACTIVE

### 1 Présentation du système

Dans un véhicule automobile, la suspension contribue principalement à assurer :

- la **tenue de route** et la stabilité du véhicule, notamment en maintenant permanent le contact entre les pneumatiques et la route ;
- le **confort** vibratoire et postural des passagers quelles que soient les conditions de circulation (état de la route, comportement du conducteur, charge du véhicule ...).



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

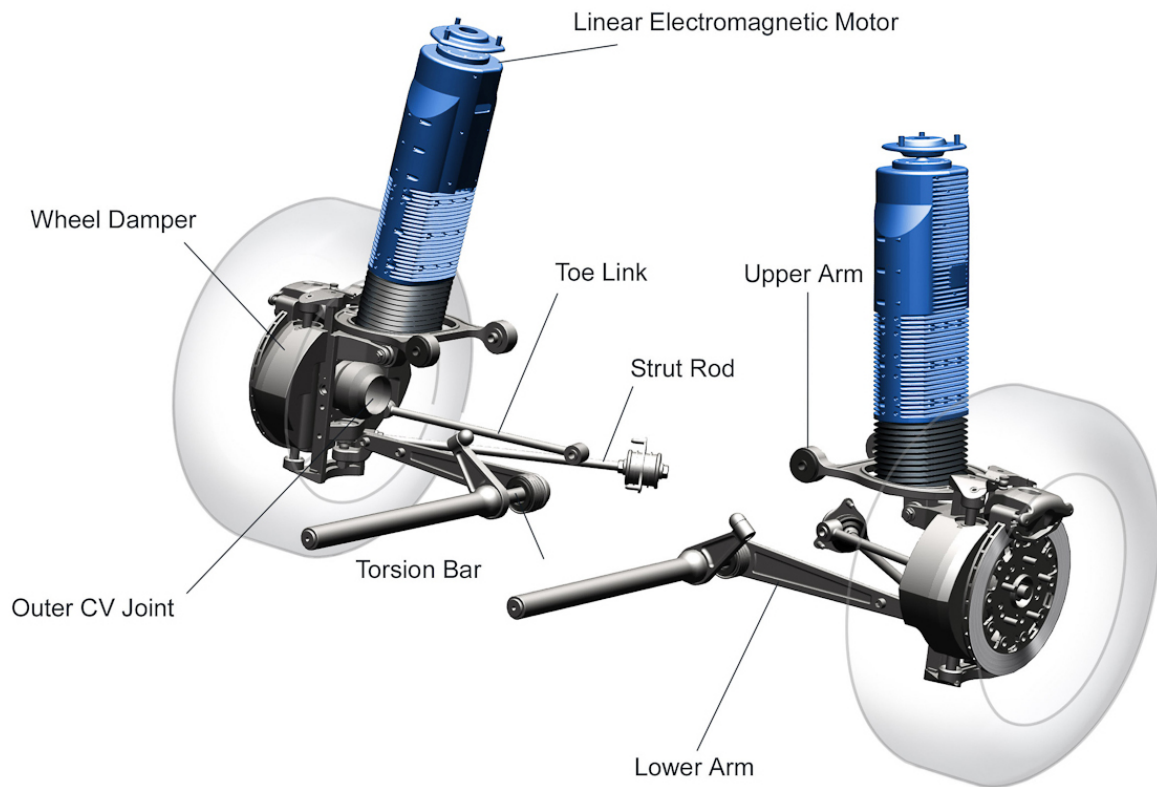
Les paramètres caractéristiques d'une suspension automobile sont la raideur et l'amortissement.

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.

L'entreprise *Bose* a proposé il y a quelques années un amortisseur actif électrique permettant d'améliorer considérablement le confort dans un véhicule automobile (voir FIGURE 1).

#### — Objectif —

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

FIGURE 1 – Amortisseur actif électrique *Bose*

## 2 Analyse du confort vibratoire

Le corps humain est organisé pour tolérer des sollicitations verticales à la fréquence de la marche. La norme AFNOR E 90-400 propose un modèle de tolérance physiologique aux vibrations verticales. Sur ce graphe FIGURE 2, on identifie « la zone de mal des transports » (Zone A) et « la zone d'inconfort vibratoire » (Zone B).

**Question 1** Comment se comporte le corps humain sollicité par une vibration verticale de fréquence voisine de 1 Hz ?

**Question 2** Quelle accélération verticale maximale peut supporter le corps humain, sollicité avec une fréquence comprise entre 4 Hz et 8 Hz pendant 30 minutes, sans être incommodé ?

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

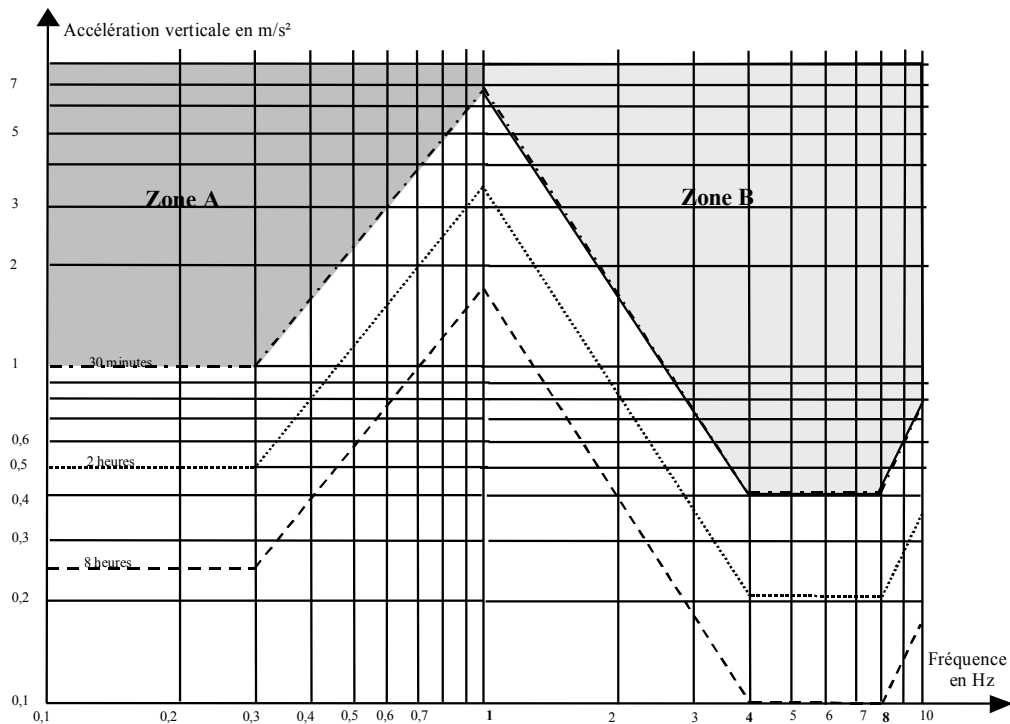
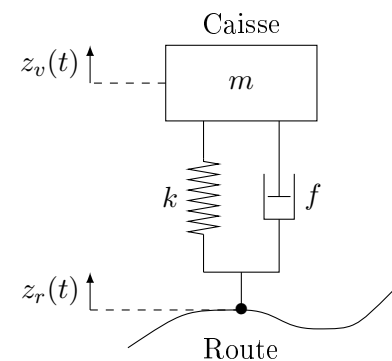


FIGURE 2 – Modèle de tolérance physiologique aux vibrations (AFNOR E 90-400)

### 3 Analyse de la suspension classique passive

L'objectif de cette première 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,  $z_v(t)$  la variation d'altitude de la caisse de la voiture par rapport à la position d'équilibre,  $k$  la raideur du ressort,  $f$  le coefficient d'amortissement de l'amortisseur et  $m$  la masse équivalente vue par une roue.



Le principe fondamental de la dynamique appliqué à la masse  $m$  donne l'équation :

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

La masse du véhicule est égale à  $4m = 1650 \text{ kg}$  à vide,  $m$  étant la masse équivalente supportée par une roue+amortisseur.

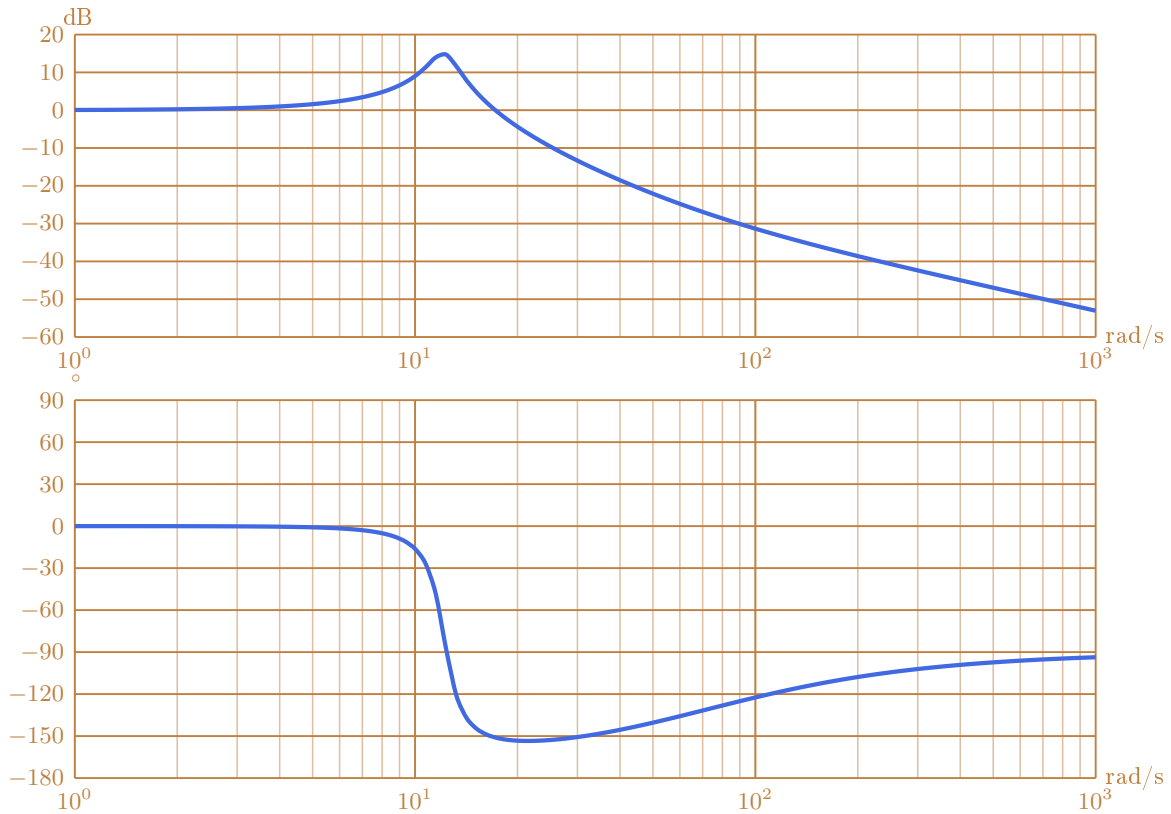
Lorsque l'on charge le véhicule à l'arrêt sur route plate ( $z_r = 0$  pour  $4m = 1650 \text{ kg}$ ), les suspensions s'écrasent d'une longueur de 15 mm pour une masse totale du véhicule de 2050 kg.

**Question 3** En déduire la valeur de la raideur  $k$  en  $\text{N.m}^{-1}$ .

On choisit une valeur d'amortissement couramment rencontrée  $f = 1000 \text{ N.s.m}^{-1}$ . On considère dans la suite une masse moyenne  $m = 450 \text{ kg}$ .

**Question 4** Montrer que la fonction de transfert  $\frac{Z_v(p)}{Z_r(p)}$  est égale à  $\frac{1 + 0,015p}{1 + 0,015p + 0,00675p^2}$ .

On donne ci-dessous le diagrammes de Bode réel de cette fonction :

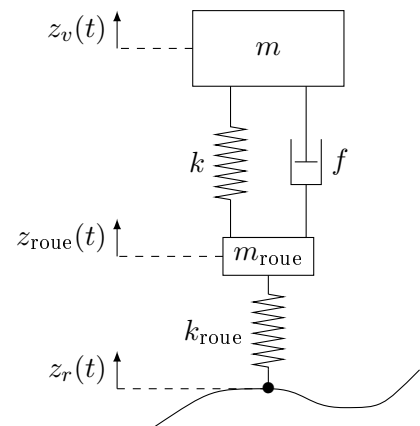


**Question 5** Superposer sur la figure ci-dessus le diagramme de Bode asymptotique en le justifiant et en précisant les valeurs caractéristiques.

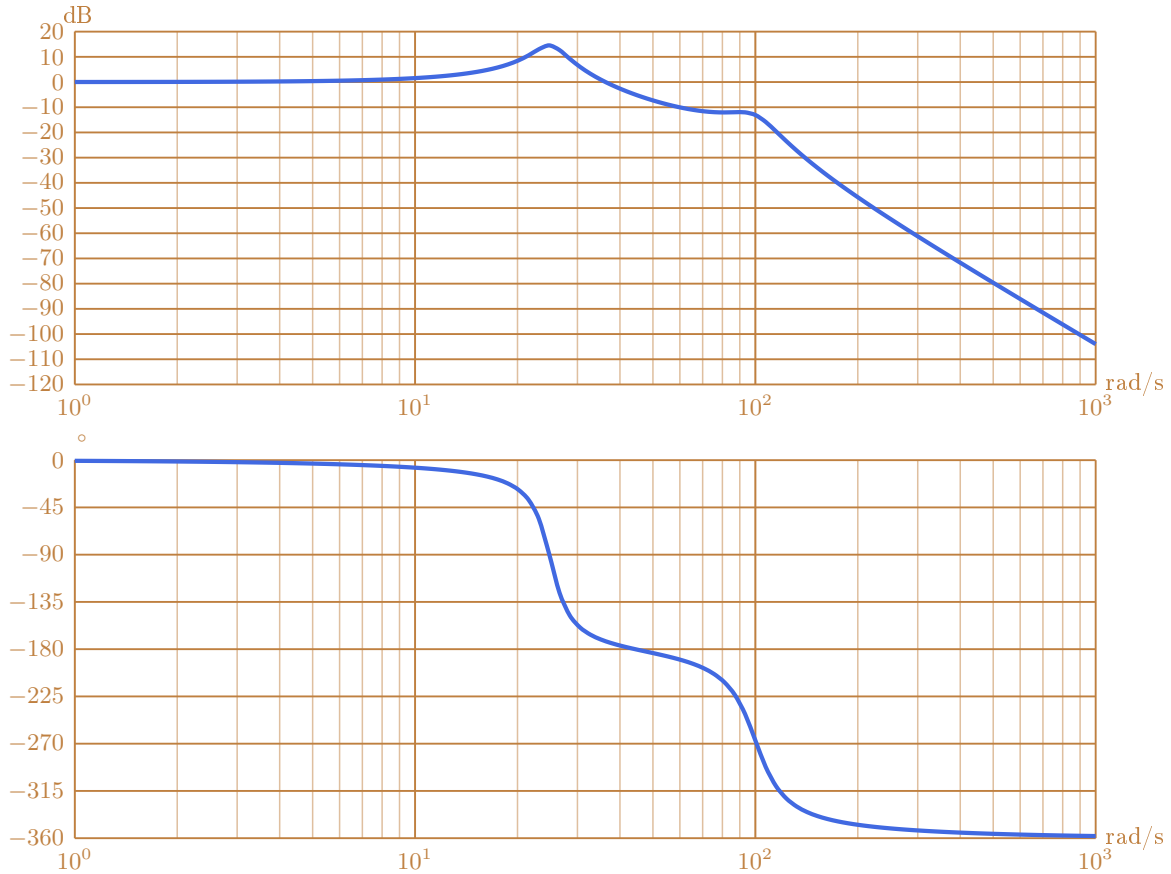
**Question 6** Que dire de cette suspension classique vis-à-vis du confort vibratoire des passagers ?

Un modèle **plus élaboré** de la suspension, prenant en compte la masse des roues et leur raideur est donné ci-contre où  $z_{roue}(t)$  est la variation d'altitude du centre d'inertie de la roue par rapport à la position d'équilibre.

Pour les mêmes valeurs de raideur et de masse, en estimant la raideur des pneus et leur masse, on peut tracer le diagramme de Bode de la fonction de transfert  $\frac{Z_v(p)}{Z_r(p)}$  (voir page suivante).



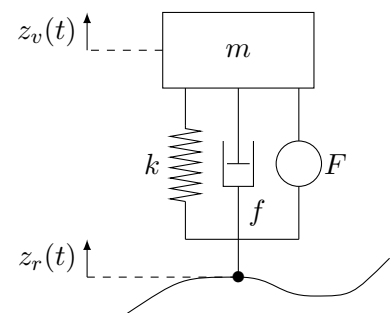
**Question 7** Proposer un modèle de fonction de transfert à partir de l'analyse des diagrammes de Bode. Conclure sur la pertinence du modèle simplifié retenu compte-tenu de la plage de fréquences intéressantes (4 Hz à 8 Hz).



#### 4 Mise en place d'une suspension active

La principe de la suspension active est d'ajouter en parallèle de la suspension classique un actionneur linéaire qui ajoute un effort pour supprimer la résonance dans la zone de confort.

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  $F = -C_v \dot{z}_v$  où  $C_v$  est une constante.



**Question 8** Modifier l'équation obtenue par le principe fondamental de la dynamique appliquée à la masse  $m$  pour prendre en compte l'effort généré par l'actionneur.

**Question 9** En déduire la nouvelle fonction de transfert.

**Question 10** Sur quel paramètre l'actionneur intervient-il ?

**Question 11** Déterminer la valeur à donner à  $C_v$  pour être à la limite de la résonance.

**Question 12** Tracer l'allure des diagrammes de Bode réel de la nouvelle fonction de transfert ainsi corrigée et conclure sur la pertinence de la suspension active vis-à-vis de la problématique de confort énoncée au début du sujet.

