

**SUSPENSION AUTOMOBILE:
SIMULATION DU COMPORTEMENT FREQUENTIEL
ET OPTIMISATION AVEC SCILAB**

Il s'agit de déterminer le déplacement vertical $z(t)$ du châssis du véhicule par rapport au référentiel galiléen lié à la route en fonction du déplacement vertical $z_r(t)$ de l'axe de la roue par rapport à ce même référentiel correspondant au passage du véhicule sur un sol accidenté.

Pour appréhender le fonctionnement de la suspension, on propose ici une modélisation de son fonctionnement et on envisage la réponse $z(t)$ à des profils de route $z_r(t)$ particuliers.

f est le coefficient de frottement visqueux de l'amortisseur (trous calibrés de passage de l'huile au travers du piston de l'amortisseur hydraulique)

k est le coefficient de raideur du ressort

La force de pesanteur appliquée au quart de châssis est d'intensité Mg . $4M$ représentant la masse suspendue du véhicule. On suppose que chaque roue « supporte » le même poids.

$$M = 250\text{kg}; \quad k = 15000 \text{ Nm}^{-1}; \quad f = 500 \text{ N.m}^{-1}.\text{s}$$

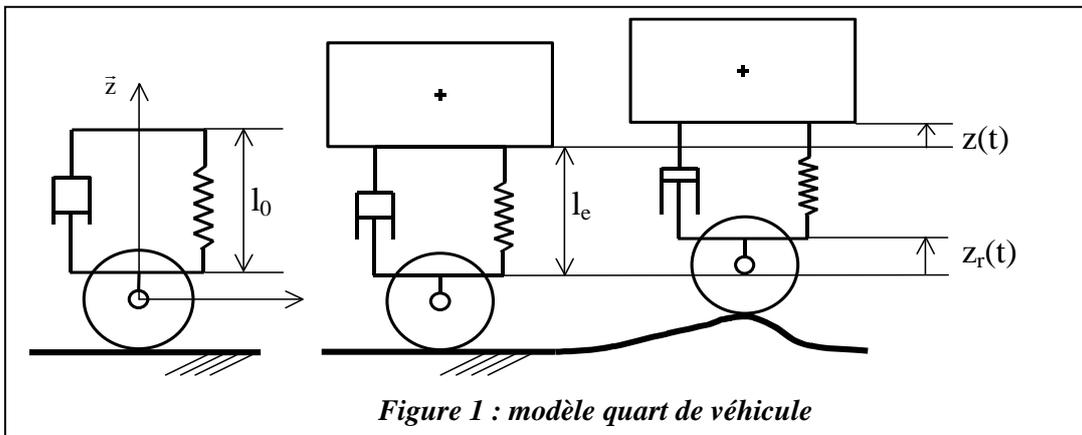


Figure 1 : modèle quart de véhicule

1 MODELISATION DE LA SUSPENSION

L'application du PFD (principe fondamental de la dynamique) à M en projection selon \bar{z} conduit à l'équation différentielle liant $z_r(t)$ et $z(t)$:

$$kz_r(t) + f \frac{dz_r(t)}{dt} = M \frac{d^2z(t)}{dt^2} + f \frac{dz(t)}{dt} + kz(t)$$

On en déduit la fonction de transfert de la suspension c'est-à-dire $H(p) = \frac{Z(p)}{Z_r(p)}$ en fonction des caractéristiques de la suspension k, f, M et de la variable de Laplace p .

avec les conditions initiales : $z(0) = 0$; $z(0) = 0$ et $\dot{z}(0) = \frac{f}{M} \cdot z_r(0)$

$$kZ_r(p) + fpZ_r(p) = Mp^2Z(p) + fpZ(p) + kZ(p)$$

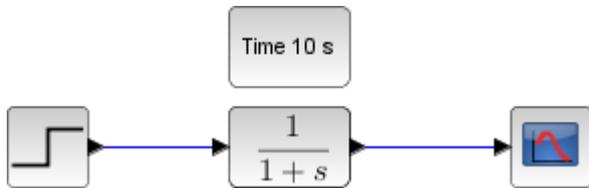
d'où $H(p) = \frac{k + fp}{k + f.p + M.p^2}$

Objectifs du TP : à l'aide du logiciel Xcos sous Scilab,

- Caractériser la réponse à un échelon de la suspension.
- Caractériser la réponse harmonique de la suspension.
- Optimiser, par simulation dans le logiciel, les paramètres k et f du point de vue du confort vibratoire des occupants

2 REPONSES TRANSITOIRES DE LA SUSPENSION

On veut caractériser le comportement de la suspension lors du franchissement à vive allure d'un trottoir de hauteur z_0 . Pour cela, on modélise l'entrée par un échelon $z_r(t) = z_0 u(t)$ avec $u(t)$ échelon unitaire. Lancer le logiciel Scilab. Lancer l'application Xcos dans le menu application. Cliquer dans le menu d'outils sur CPGE. Créer les liens entre les blocs pour obtenir le schéma suivant.



Double cliquer sur la boîte entrée pour saisir les paramètres correspondant au franchissement d'une marche de hauteur 0,1m.

Cliquer droit dans la zone graphique de la fenêtre Xcos et sélectionner Modifier le contexte. Vous pouvez ainsi définir les constantes physiques du modèle linéaires en saisissant :

$k=15000$

$f=500$

$M=250$

Remarque : c'est un logiciel de calcul numérique et on ne précise pas les unités des grandeurs, c'est à nous de bien faire attention à saisir des valeurs en USI pour récupérer des résultats en USI.

Double cliquer sur la boîte CLR pour saisir les paramètres correspondant au SLCI modélisant le comportement de cette suspension. (attention : « s » est et la variable de Laplace)

Etablir la courbe de réponse à un échelon d'amplitude $z_0 = 0,1\text{m}$ à l'aide de l'outil démarrer

Question 1 : Déterminer la valeur du 1^{er} dépassement en mètre puis le 1^{er} dépassement relatif. Déterminer le temps de réponse à 5% de la suspension lors du franchissement « rapide » d'un décrochement de la chaussée de 10cm de haut (durée à partir de laquelle l'oscillation est inférieure à 5% de la valeur finale 0,1m).

Cette valeur n'est pas acceptable pour un véhicule de tourisme et on peut la diminuer en augmentant f pour obtenir un temps de réponse à 5% d'environ 2s. Dans la suite on prendra $f = 700 \text{ N.m}^{-1}.\text{s}$. Modifier cette valeur numérique dans le contexte (cliquer droit et Modifier le contexte) et relancer la simulation pour constater l'effet sur la réponse de la suspension.

Question 2 : Déterminer les nouveaux temps de réponse et dépassement.

3 REPONSE FREQUENTIELLE OU HARMONIQUE DE LA SUSPENSION

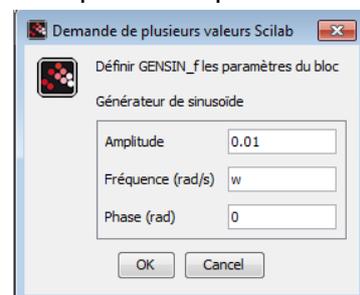
On veut maintenant caractériser le comportement de la suspension lors du passage de la voiture sur une route bosselée. Pour cela on modélise l'entrée correspondante par une fonction sinusoïdale $z_r(t) = z_{r0} \sin(\omega t)$ avec $z_{r0} = 0,01\text{m}$.

Remplacer le bloc d'entrée par une « boîte GENSIN_f »

Modifier le contexte et rajouter :

$w=10$

Saisir les paramètres de la boîte :



La pulsation ω de cette fonction sinusoïdale du temps dépend de la vitesse de passage du véhicule V et de la longueur d'onde en mètres du profil de route (écartement entre les bosses) λ :

$$\omega = 2\pi \frac{V}{\lambda}$$

Pour des vitesses variables du véhicule (0 à 220km/h) sur des bosses de longueur d'onde 2 m (bosselage sur l'autoroute) on peut prendre des valeurs de ω de 0 à 192s⁻¹.

Modifier les paramètres de résultats numériques de la simulation de durée et de nombre de point pour obtenir des résultats exploitables :

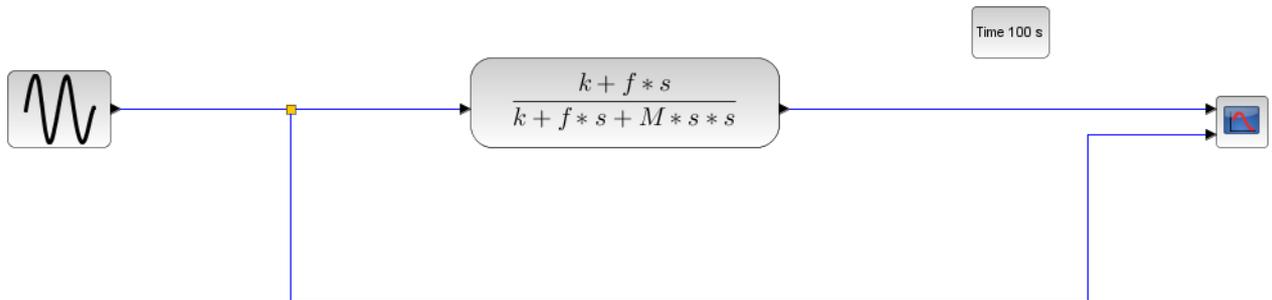
Durée de simulation =10

Nombre de points = 1000

Tracer la courbe de réponse $z(t)$ à une sinusoïde de demi-amplitude $z_{r0} = 0,01m$ et de pulsation $\omega = 10s^{-1}$. Utiliser l'outil étiquette pour lire les coordonnées des points.

Question 3 : Distinguer le régime transitoire et le régime permanent. Après combien de temps peut-on considérer le régime permanent atteint ? Comparer avec le temps de réponse à un échelon.

Cliquer droit sur le scope et ajouter une entrée au scope de manière à obtenir les courbes superposées d'entrée et de sortie.



Question 4 : Relever sur la courbe la période, l'amplitude et le retard ΔT du mouvement du châssis par rapport au profil de route. En déduire le gain et le déphasage et mettre ces informations dans le tableau de résultats de la page suivante.

Pour des pulsations plus élevées, l'échelle de temps ne permet plus de visualiser correctement les sinusoïdes de profil de route et de déplacement vertical du châssis. Il faut alors utiliser l'outil zoom et éventuellement augmenter le nombre de points.

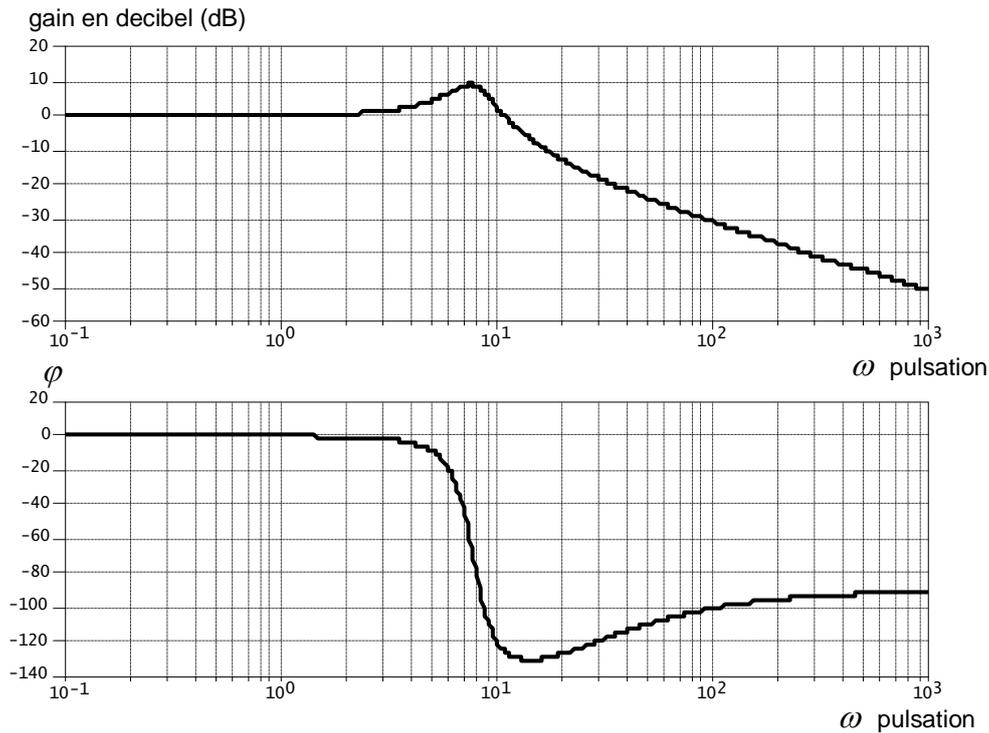
Question 5 : Compléter le tableau suivant et mettre les points correspondant sur les diagrammes gain-pulsation et amplitude-pulsation fournis sur le document réponse.

ω en s ⁻¹	1	3	5	7	10	20	40	70	120	190
Période $T = \frac{2\pi}{\omega}$ en s										
Amplitude Z_0 en m										
Retard ΔT en s										
Gain $G(\omega) = \frac{Z_0}{Z_{r0}}$										
Déphasage $\varphi = \frac{\Delta T}{T} . 360^\circ$ en °										

Ces diagrammes sont toujours présentés en échelle logarithmique et semi-logarithmique comme sur le document réponse et s'appellent alors : Diagrammes de Bode en gain et en phase.

Question 6 : Tracer dans le logiciel les diagrammes de Bode en amplitude et en phase représentant cette réponse fréquentielle.

$$G_{dB}(\omega) = 20 \log(G(\omega))$$



Question 7 : Sur ce diagramme relever, à l'aide de l'outil curseur, la valeur maximale du gain en décibel et la pulsation correspondante appelée pulsation de résonance. Donner les valeurs de vitesse de véhicule et d'amplitude d'oscillation correspondante.

On désire assurer, pour le confort des occupants du véhicule, une pulsation $\omega_r = 6,28\text{s}^{-1}$ de résonance correspondant à une fréquence d'oscillation de la caisse de 1Hz. On peut pour cela modifier la valeur de la raideur du ressort k .

Question 8 : Déterminer à l'aide du logiciel une valeur de k correspondante.

On désire de plus pour cette fréquence de résonance avoir une amplification de l'oscillation de 30%. On peut pour cela modifier la valeur de l'amortissement f de l'amortisseur. On remarque alors que la pulsation de résonance est légèrement modifiée.

Question 9 : Déterminer à l'aide du logiciel par simulations successives le couple de valeurs f et k correspondant.

On a ainsi prédimensionné la suspension en choisissant des caractéristiques du ressort et de l'amortisseur.