

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

مرحبا بكم

Bienvenue



**UNIVERSITÉ KASDI MERBBAH OUARGLA**

**Faculté des Sciences Appliquée**

**Département Génie Mécanique**

**Filière : Génie Mécanique**

**Spécialité : Maintenance industrielle**



**Thème**

**Modélisation et commande des  
suspensions active des véhicules routiers**

**Présenté par :  
Hafiane khaled  
Bassa.Abdeldjebba**

**encadré par :  
R.Khettabi**

**Année Universitaire : 2017 /2018**

# plan de présentation

- Introduction générale
- Les suspensions
- Structure d'une suspension
- Techniques de suspension
- Contrôle de vibrations
- Généralité sur vibrations
- Vibrations dans les véhicules
- Sensibilité de l'être humain aux vibrations
- Modélisation et Simulation numérique
- Conclusion générale

# Introduction générale

L'automobile est un ensemble d'organes composant un système . Ce système est soumis aux sollicitation du conducteur et de l'environnement les position et les vitesses des différents organes évoluent selon ces sollicitations. Le but de l'automatique appliquée à l'automobile est de gérer les relations entre les sollicitations et l'état du Système .

L'objectif de travail vise à étudier la suspension active des véhicules routier pour améliorer le confort et la stabilité des cabines de véhicules face aux variations des différents paramètres tels que l'aspérité la piste, la vitesse du véhicule, le coefficient de raideur de ressort, et le coefficient d'amortissement .

# Les suspensions

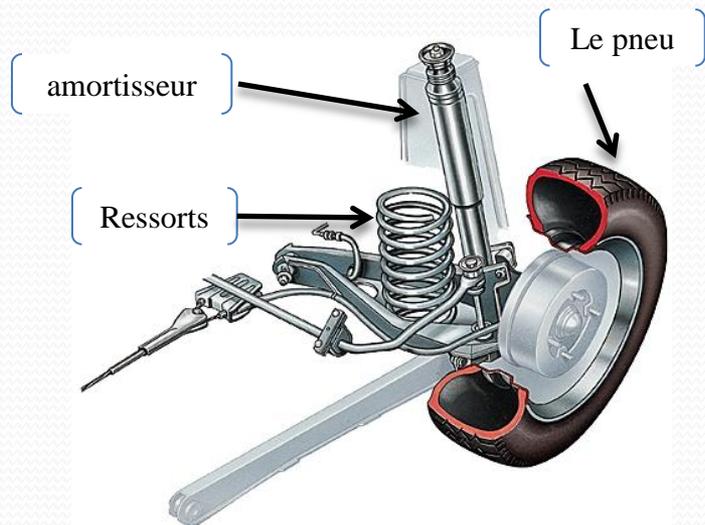
Sur un véhicule, la suspension est le système reliant les masses non suspendues aux masses suspendues .



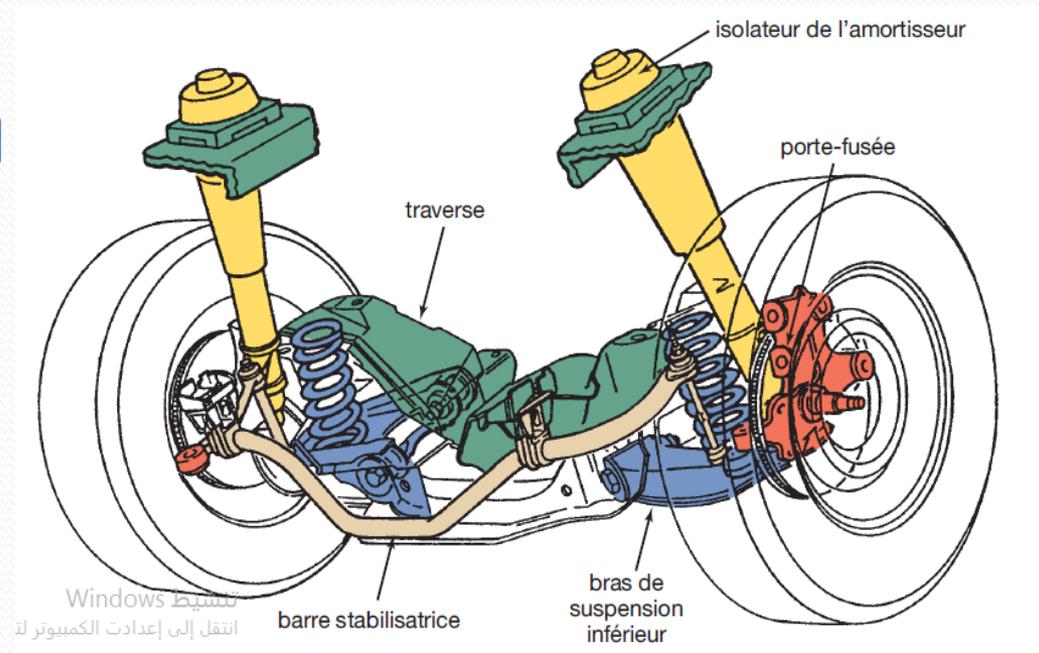
le système suspension d'un véhicule

# Structure d'une suspension

De nombreux composants sont implantés dans la suspension, ces éléments possèdent des rôles différents mais surtout complémentaires. Les principaux sont listés ci-dessous .

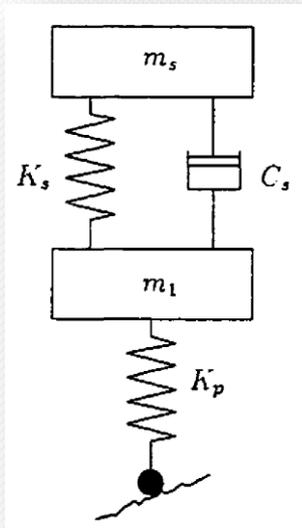


**Fig 1 .** Les composants principaux

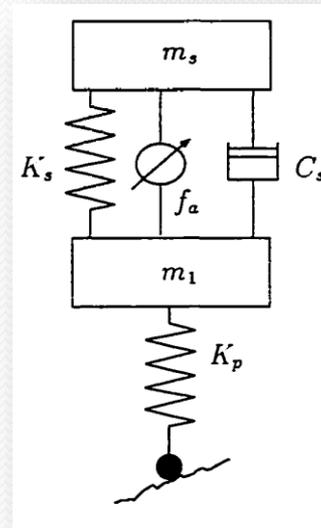


**Fig 2 .** Les composants complémentaires

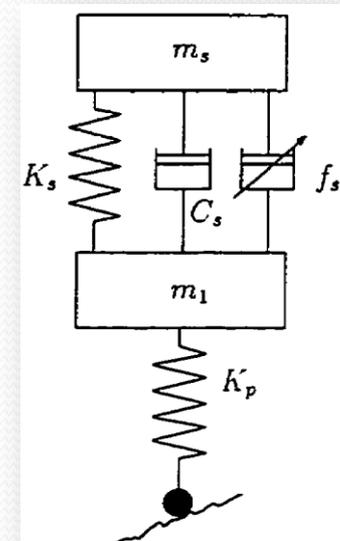
# Techniques de suspension



système de suspension passive



système de suspension active

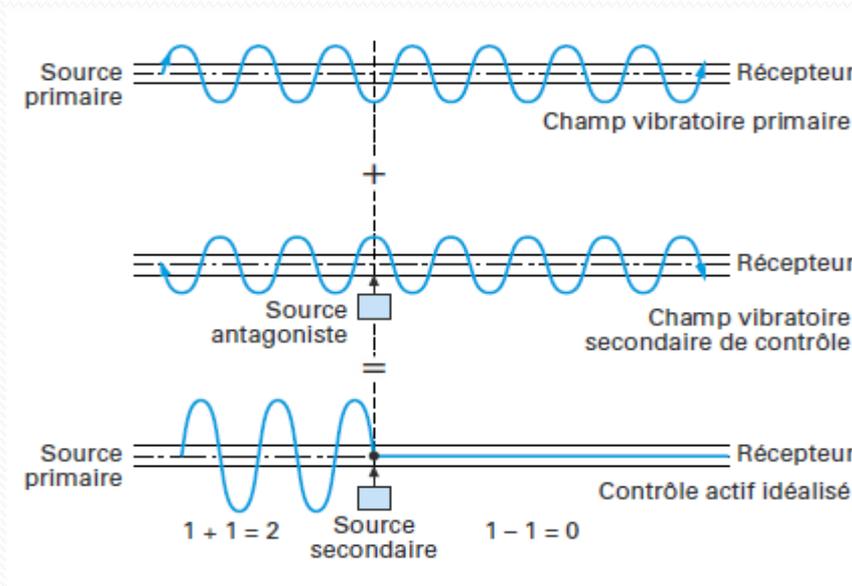


système de suspension semi-active

# Contrôle de vibrations

## Contrôle actif des vibrations

l'idée est de bloquer la vibration en exerçant une vibration antagoniste créée artificiellement avec des propriétés en miroir, à tout instant, relativement à la vibration indésirable, pour rendre nulle leur somme vectorielle.



# Généralité sur vibrations

Une vibration se définit comme la variation, en fonction du temps, du mouvement ou de la position d'un système mécanique, un corps est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement oscillatoire autour d'une position d'équilibre ou de référence

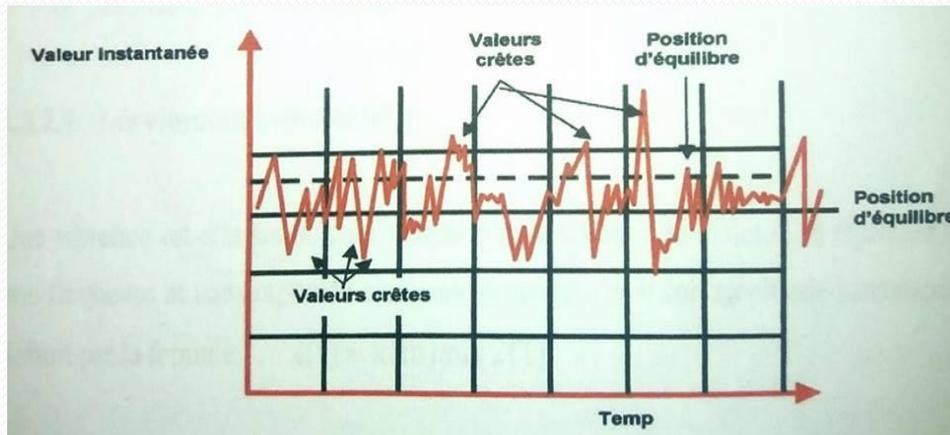
Les paramètres qui entrent en jeu dans une vibration sont :

- La fréquence : en hertz (Hz) ,  $f = 1/T$
- La période T
- L'amplitude du déplacement, en mètre(m)
- La vitesse en (m/s)
- L'accélération en (m/s<sup>2</sup>).

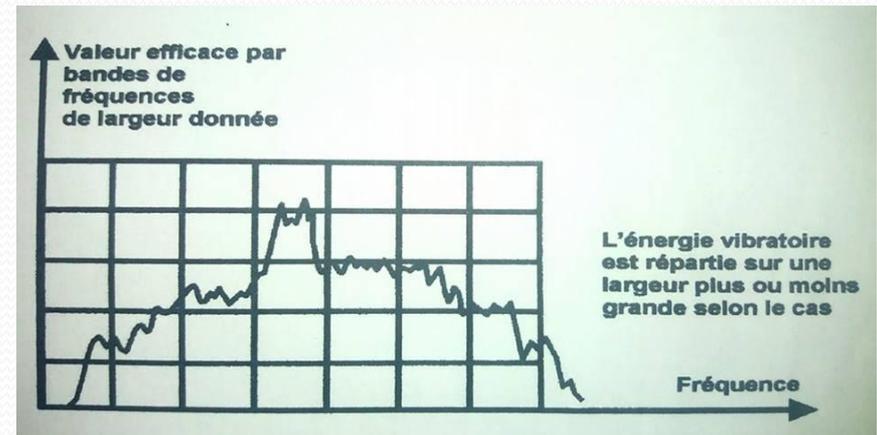
# Généralité sur vibrations

## Représentation d'une vibration

Elle sera représentée graphiquement par son spectre fréquentiel ou par son spectre temporelle



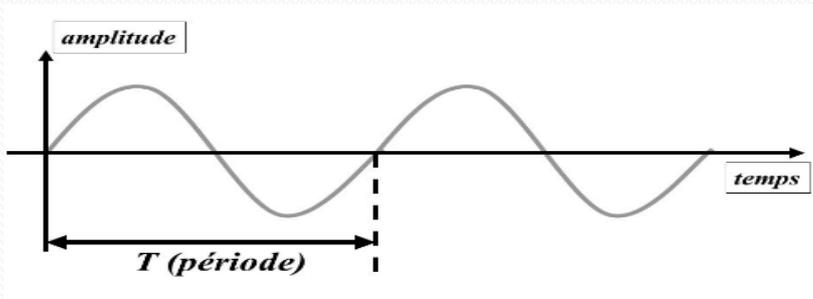
spectre temporelle



spectre fréquentiel

# Généralité sur vibrations

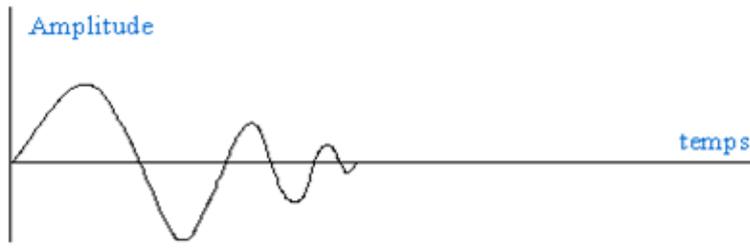
## Types de vibration



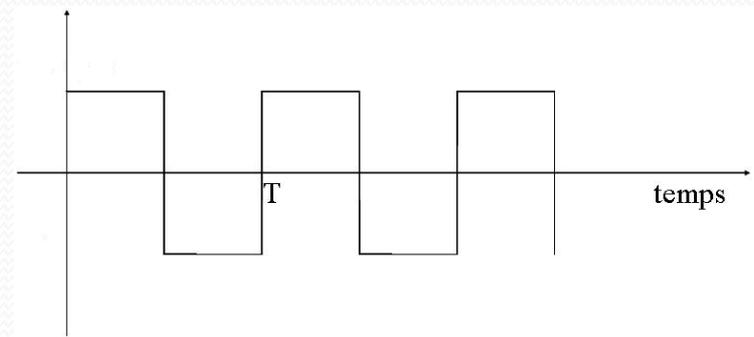
1- vibratoire sinusoïdal



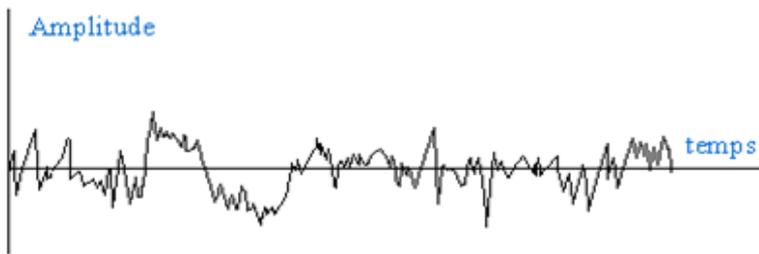
4.1- vibratoire harmonique



2- vibratoire transitoires



4.2- vibratoire périodiques non harmonique

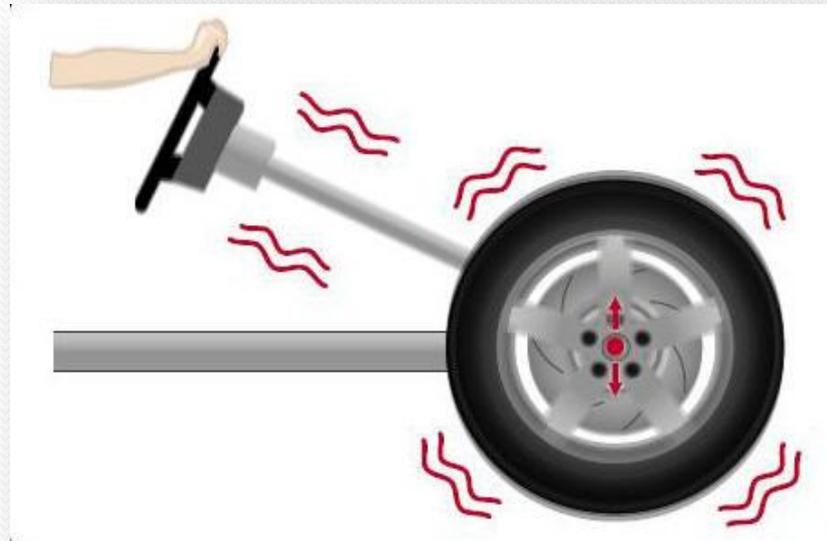


3- vibratoire aléatoires

# Vibrations dans les véhicules

## Les étapes de la vibration d'un véhicule

- les roues d'un véhicule rencontrent des obstacles très diversifiés dont la distribution est apparemment aléatoire .
- Cette succession d'inégalités engendre au niveau de la roue des mouvements continus .
- ces vibrations sont directement transmises aux la caisse de véhicule



# Sensibilité de l'être humain aux vibrations

Les conducteurs de véhicules sont soumis à plusieurs sortes de vibrations qui peuvent entraîner diverses complications , Chaque secousse soumet la colonne vertébrale et ses disques intervertébraux à une succession de compressions et distensions.

la répétition de ce mécanisme au fil des années peut aboutir à :

- fractures du plateau de la vertèbre
- fissures du disque intervertébral
- des hernies discales chez les conducteurs

# Sensibilité de l'être humain aux vibrations

## Tolérance aux vibrations

ISO a développé une norme sur l'évaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps .

Tableau de valeurs approximatives des accélérations déterminant le degré du confort.

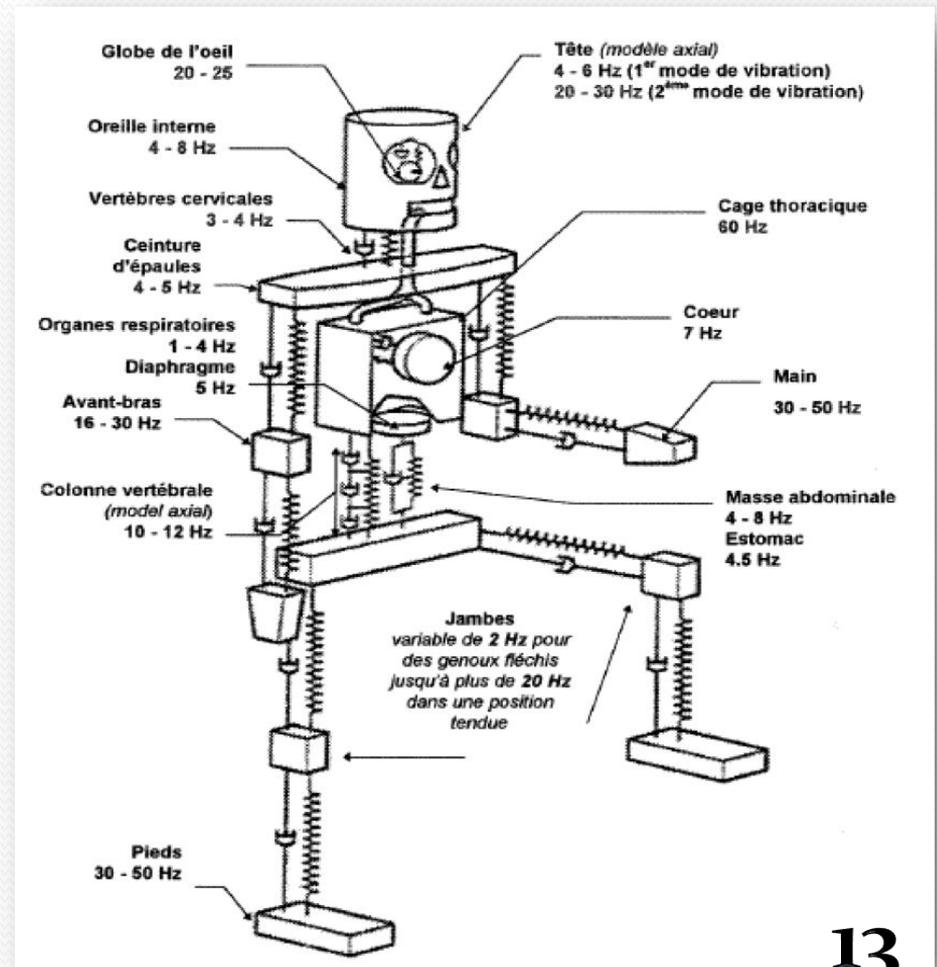
Accélération en rms (m/s <sup>2</sup> )	Degré du confort
Inférieure à 0.315	Confortable
0.315 à 0.63	Un peu inconfortable
0.5 à 1	Passablement inconfortable
0.8 à 1.6	Inconfortable
1.25 à 2.5	Très inconfortable
Supérieure à 2.5	Extrêmement inconfortable

# Sensibilité de l'être humain aux vibrations

## Modélisation du corps de l'être humain

Pour simplifier le modèle, le corps humain est modélisé comme une masse rigide d'un point de vue biomécanique .

Décomposition du corps humain en système masses ressorts amortisseurs .



# Modélisation et Simulation numérique

## Modélisation d'un Suspension

### \* Suspension passive

Equations du mouvement

$$M_2 \ddot{x}_2 = -k_2(x_2 - x_1) - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1)$$

$$M_1 \ddot{x}_1 = k_2(x_2 - x_1) + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - k_1(x_1 - x_0)$$

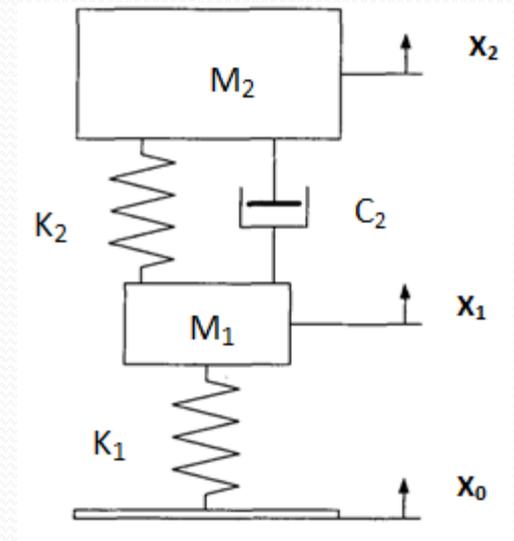
Afin de réduire l'ordre l'équation utilisons la méthode des changements de variables classiques

$$x_1 = x_2 - x_1$$

$$x_2 = \dot{x}_2$$

$$x_3 = x_1 - x_0$$

$$x_4 = \dot{x}_1$$



Modèle d'un quart de véhicule avec la suspension passive .

# Modélisation et Simulation numérique

On peut écrire les équations du système sous la forme matricielle suivante :

$$\dot{X} = AX + L\dot{X}_0$$

Avec  $\dot{X}_0$  est la vitesse de d'excitation, A, X et L sont définies par les expressions suivantes

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 \\ -\frac{K_2}{M_2} & -\frac{C_2}{M_2} & 0 & \frac{C_2}{M_2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{K_2}{M_1} & \frac{C_2}{M_1} & -\frac{K_1}{M_1} & -\frac{C_2}{M_1} \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix}$$

$$L = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

# Modélisation et Simulation numérique

## \* Suspension active

Equations du mouvement

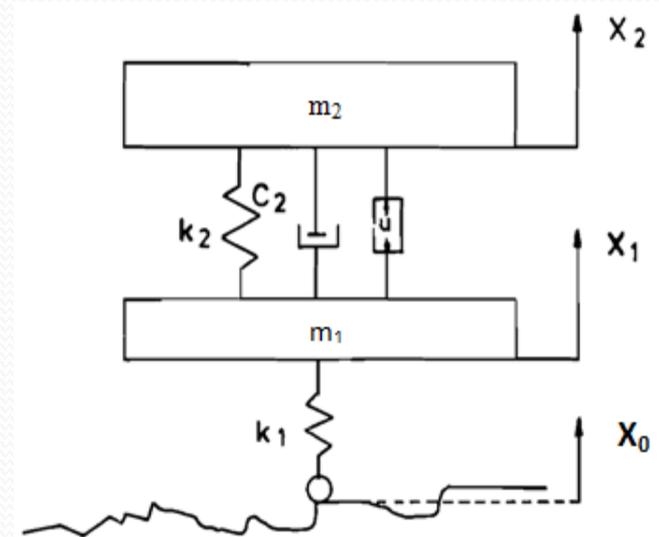
$$m_2 \ddot{x}_2 = -k_2(x_2 - x_1) - C_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + U$$

$$m_1 \ddot{x}_1 = k_2(x_2 - x_1) + C_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - U - k_1(x_1 - x_0)$$

Nous utilisons la même simplification de l'ancien .

On peut formuler le système d'espace d'état sous la forme suivante

$$\dot{X} = AX + BU + LX_0$$



Modèle d'un quart de véhicule avec la suspension active .

# Modélisation et Simulation numérique

Donc,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 \\ \frac{-K_2}{m_2} & \frac{-C_2}{m_2} & 0 & \frac{C_2}{m_2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{K_2}{m_1} & \frac{C_2}{m_1} & \frac{-K_p}{m_1} & \frac{-C_2}{m_1} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ m_1 \end{bmatrix}$$

$$X = [X_1 \quad X_2 \quad X_3 \quad X_4 \quad X_5]^T$$

$$L = [0 \quad 0 \quad -1 \quad 0]^T$$

Modèle de la force active « Full state feedback Law »

$$U = k_1(X_2 - X_1) + k_2\dot{X}_2 + k_3(X_1 - X_0) + k_4\dot{X}_1 = Kx$$

L'équation du gain  $k$  qui représente les coefficients ( $k_1, k_2, k_3, k_4$ ) est donnée par

$$K = R^{-1}[(N^T + B^T X)]$$

Formulation de la fonction objective

$$J = \frac{1}{T} E[\int_0^T (\ddot{X}_2^2 + q_1(X_2 - X_1)^2 + q_2\dot{X}_2^2 + q_3(X_1 - X_0)^2 + q_4\dot{X}_1^2) dt]$$

# Modélisation et Simulation numérique

L'expression de la fonction objective sous forme matricielle sera:

$$J = \frac{1}{T} E[\int_0^T (X^T Q X + 2X^T N U + R U^2) dt]$$

avec,

$$Q = \begin{bmatrix} (q_1 + \frac{K_2^2}{m_2^2}) & (\frac{K_2 C_2}{m_2^2}) & 0 & (-\frac{k_2 C_2}{m_2^2}) \\ (\frac{K_2 C_2}{m_2^2}) & (q_2 + \frac{C_2^2}{m_2^2}) & 0 & (-\frac{C_2^2}{m_2^2}) \\ 0 & 0 & q_3 & 0 \\ (-\frac{k_2 C_2}{m_2^2}) & (-\frac{C_2^2}{m_2^2}) & 0 & (q_4 + \frac{C_2^2}{m_2^2}) \end{bmatrix}$$

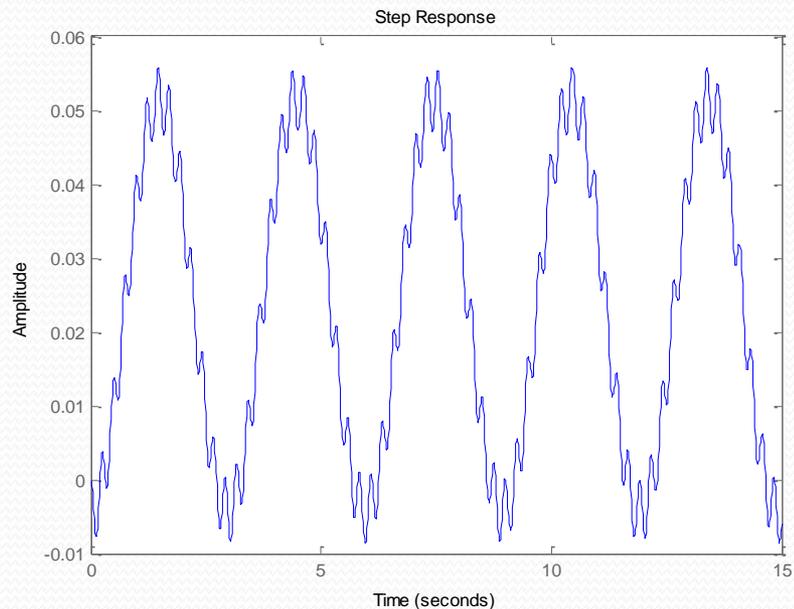
$$N = \begin{bmatrix} -\frac{k_2}{m_2^2} \\ -\frac{C_2}{m_2^2} \\ 0 \\ \frac{C_2}{m_2^2} \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 \\ m_2^2 \end{bmatrix}$$

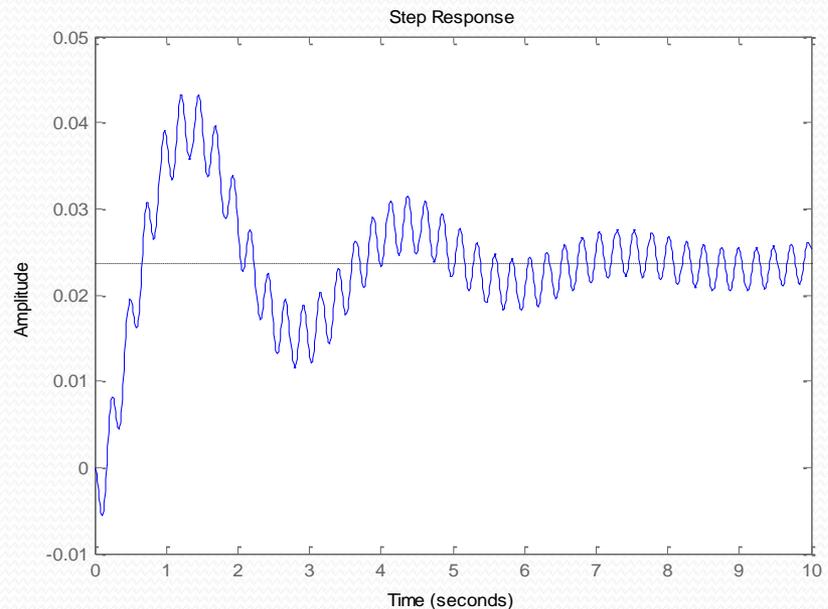
# Modélisation et Simulation numérique

## Simulation numérique de la suspension passive

présenté les résultat du simulation de la réponse de système par Matlab pour système d'un quart de véhicule de la suspension passive avec les valeurs nécessaires pour complètes la simulation.

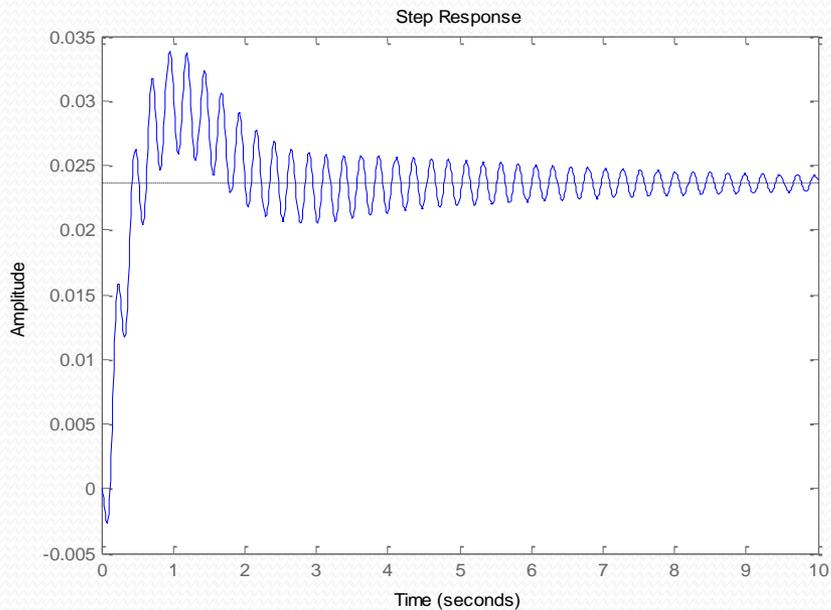


1- réponse de système ( $C_2 = 0 \text{ N s / m}$ )

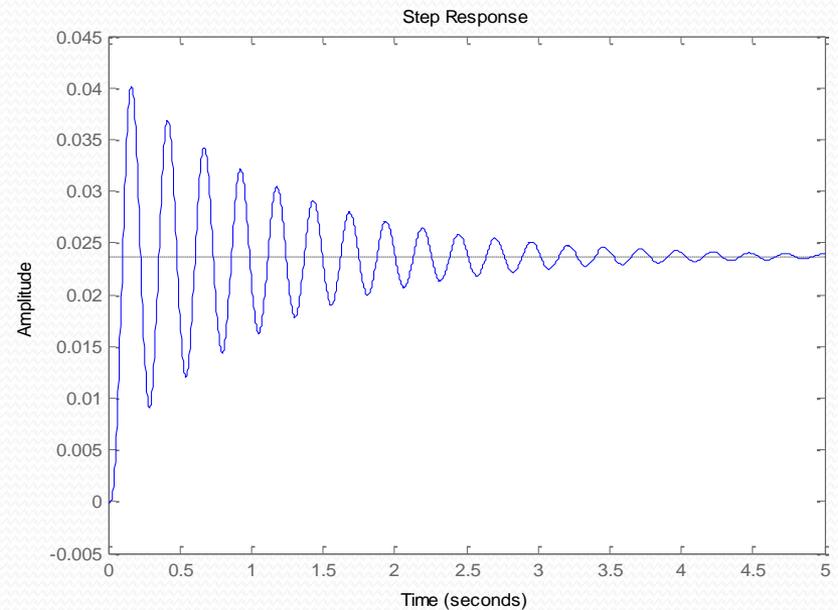


2- réponse de système ( $C_2 = 30 \text{ N s / m}$ ) **19**

# Modélisation et Simulation numérique



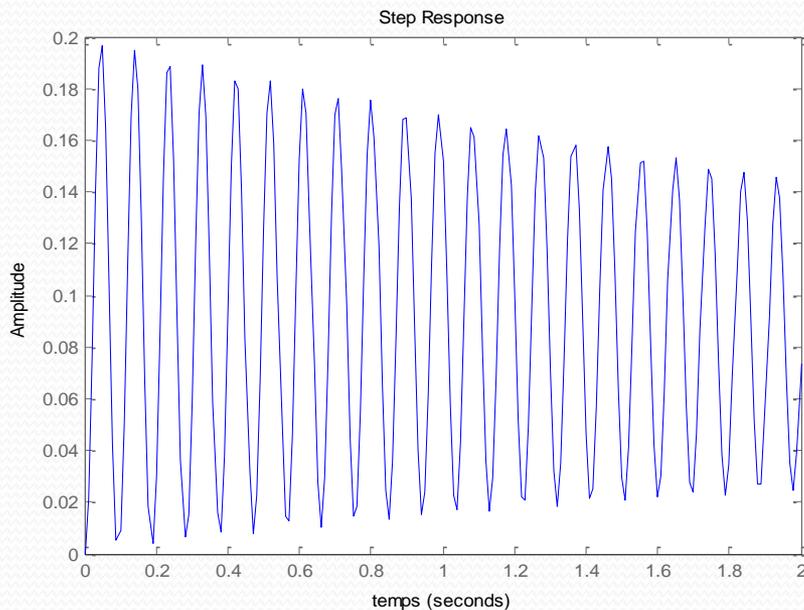
3- réponse de système ( $C_2 = 100 \text{ N s / m}$ )



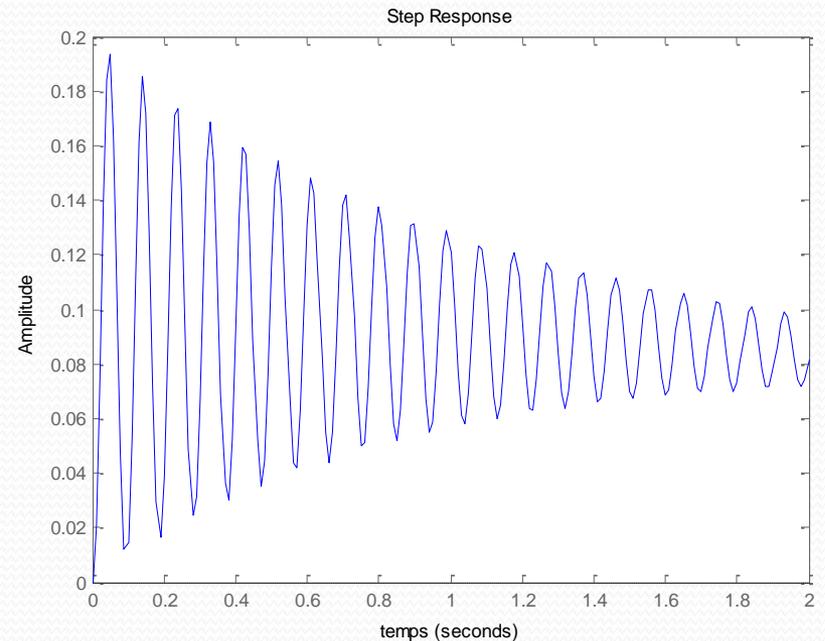
4- réponse de système ( $C_2 = 1000 \text{ N s / m}$ )

# Modélisation et Simulation numérique

## Simulation numérique de la suspension active

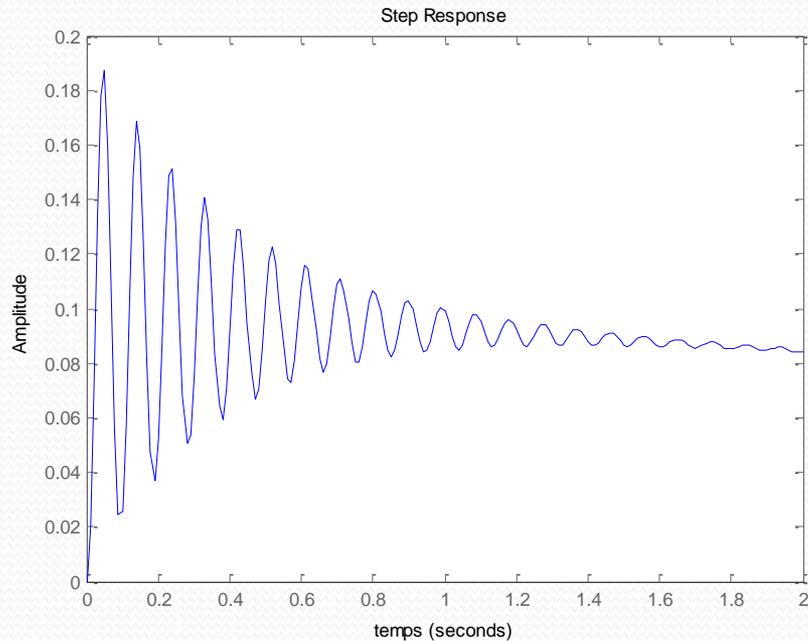


réponse de système ( $C_2 = 0 \text{ N s / m}$ )

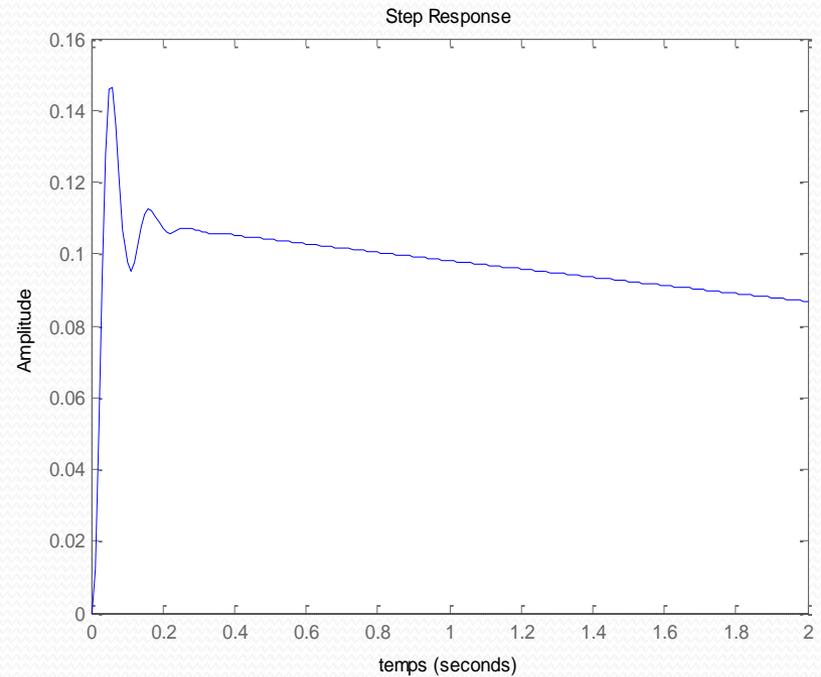


réponse de système ( $C_2 = 30 \text{ N s / m}$ )

# Modélisation et Simulation numérique



réponse de système ( $C_2 = 100 \text{ N s / m}$ )



réponse de système ( $C_2 = 1000 \text{ N s / m}$ )

# Modélisation et Simulation numérique

la comparaison entre la suspensions active et la suspension passive montre que la suspension active réduit considérablement l'amplitude des oscillations des système par apport à la suspension passive.

comme conclusion, la suspension passive offre moins de confort que la suspension active . La commande active des vibrations est donc la solution la plus ambitieuse

# Conclusion générale

Dans ce présentation on a étudié la modélisation et commande des suspensions active des véhicules routiers. l'objectif de cette sujet est d'analyser l'effet des vibrations sur le confort et la stabilité des véhicules routiers face aux variations différents paramètre comme les coefficients de suspension. Pour réaliser cette étude, deux modèles sont proposé (la suspension active et passive) pour simuler le comportement dynamique des véhicules.

Nous avons conclu que les résultats obtenus avec la simulation du véhicule, ont montré que l'utilisation d'un modèle de suspension active développé lors de cette étude peut s'avérer bénéfique pour le confort sans trop perturber la stabilité et La commande active des vibrations est la solution la plus ambitieuse.



**Merci pour votre attentions**