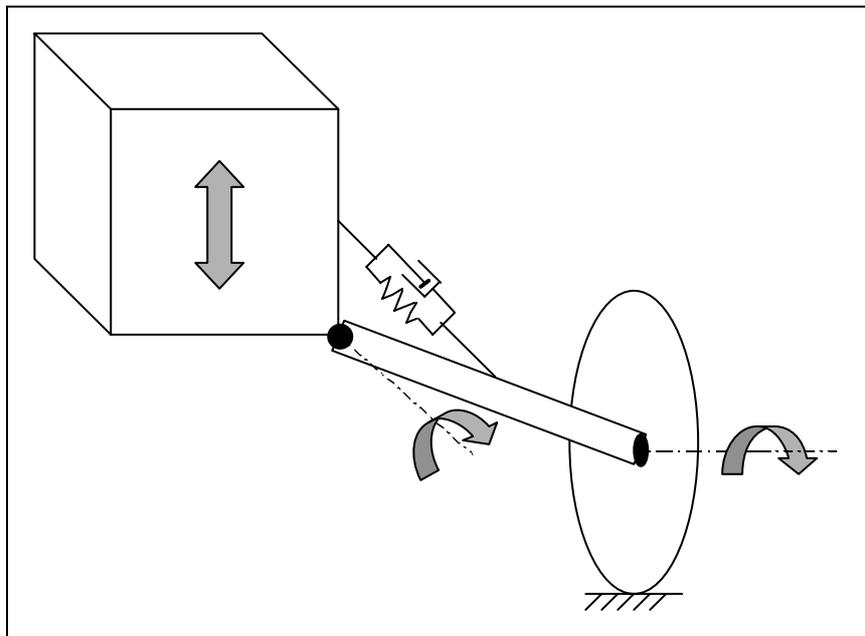


## INTRODUCTION:

Cet exercice consiste à simuler le comportement d'une suspension de véhicule. Il a pour but d'introduire sur un modèle simplifié tous les concepts nécessaires à la modélisation du quad complet, à savoir :

- Structure multicorps avec articulations de translation et de rotation
- Force de liaison et loi de comportement
- Capteur cinématique
- Contact pneu/sol
- Variable ignorable
- Corps fictif et variable commandée

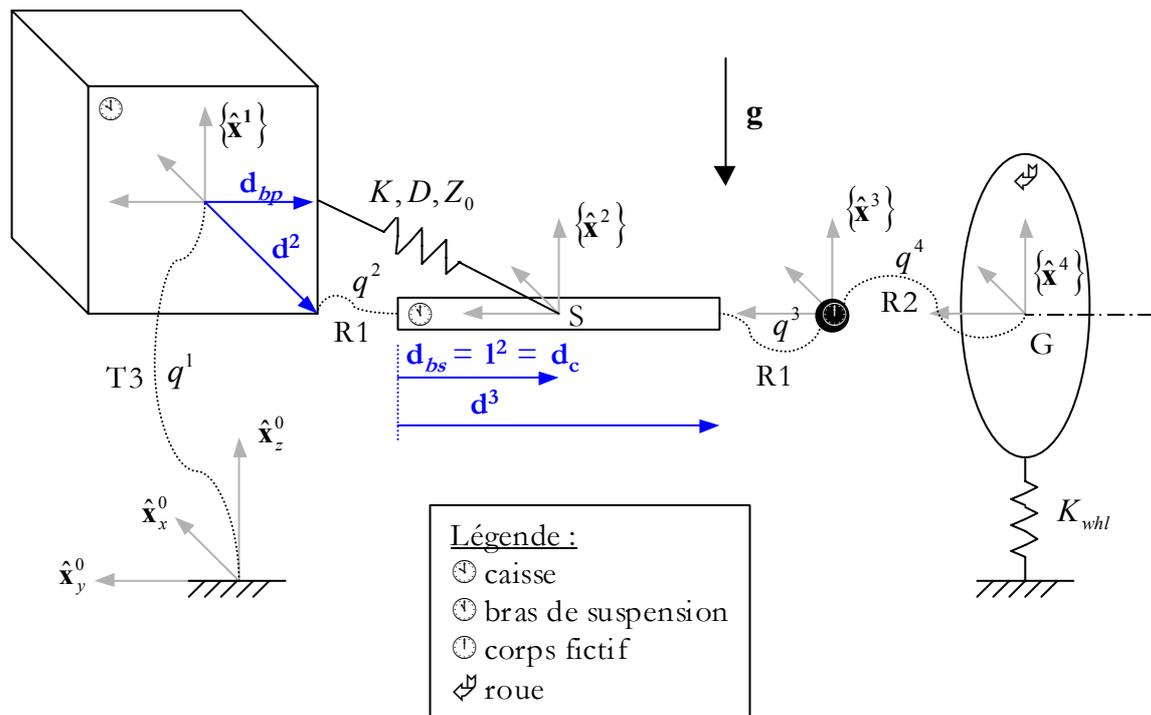
## SYSTEME REEL



## MODELE MULTICORPS

Le système est constitué de 3 corps: le châssis, le bras de suspension et la roue. Comme l'axe de rotation de celle-ci n'est pas aligné avec l'axe du bras de suspension, une articulation 'artificielle' doit être intercalés entre le bras et la roue. Celle-ci sera bloquée en position constante.

Les corps sont interconnectés entre eux par différentes articulations 'élémentaires' à 1 degré de liberté (prismatique ou rotoïde) :



Le mouvement relatif du châssis par rapport au sol ne s'effectue qu'en translation suivant la direction  $\hat{x}_z^0$ .

Le mouvement relatif du bras de suspension par rapport au châssis ne s'effectue qu'en rotation autour d'un axe qui est parallèle à la direction  $\hat{x}_x^0$ .

L'orientation de la roue par rapport au bras de suspension ne s'effectue qu'en rotation autour d'un axe qui est parallèle à la direction  $\hat{x}_x^0$ . La coordonnée généralisée  $q^3$  associée à l'articulation artificielle 3 sera commandée à une valeur constante.

Le mouvement de rotation de la roue s'effectue autour d'un axe qui, dans la configuration de référence, est parallèle à la direction  $\hat{x}_y^0$ .

La coordonnée généralisée associée n'intervient pas dans le calcul de l'équilibre : elle est ignorable.

Le rôle de l'articulation artificielle 3 est d'assurer un angle constant non nul entre l'axe du bras de suspension et l'axe de rotation de la roue. De cette manière, le plan de la roue sera vertical à l'équilibre, ce qui est généralement le cas pour une suspension réelle.

Tous ces corps sont également soumis à certaines forces dues à la gravité, au contact pneu/sol, au ressort et à l'amortisseur de suspension. Ces deux derniers éléments de suspension sont modélisés par une force de liaison entre le châssis et le bras de suspension. Le contact pneu/sol est quant à lui modélisé par une force externe s'exerçant sur la roue.

On définit enfin un capteur cinématique S solidaire du bras de suspension et fixé au centre de celui-ci.

### MODELISATION DU CONTACT SUR SOL PLAT

La loi de comportement de la force normale de contact pneu/sol est:

$$F = \max(0, K_{whl} \cdot e)$$

L'écrasement  $e$  est calculé à l'aide du rayon nominal  $r_{nom}$ , de la hauteur  $h$  du centre de la roue dans le repère inertiel et de l'angle de carrossage  $\varphi$  de la roue :

$$e = r_{nom} \cdot \cos(\varphi) - h$$

Un capteur cinématique au centre de la roue permet de calculer :

- La hauteur du centre de la roue.
- L'angle de carrossage, à l'aide de la matrice de passage  $R$  entre le repère inertiel et le repère de la roue:

$$[\hat{\mathbf{x}}^4] = R[\hat{\mathbf{x}}^0]$$

La force de contact est dirigée suivant la verticale du repère inertiel.

Enfin, compte tenu du très faible roulis de la roue, nous supposons que la ligne d'action de la force passe par le centre de la roue. Ceci nous permet de négliger le moment de la force par rapport au centre de masse de la roue ( $\text{trq}^4 = 0$ ).

### DONNEES NUMERIQUES

#### Articulation 1 : pompage

- Articulation : T3

#### Corps 1 : châssis (id : 1)

- Masse :  $m^1 = 50 \text{ kg}$
- Inertie : —

- Position du centre de masse :  $\mathbf{l}_1 = [\hat{\mathbf{x}}^1]^T \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

#### Articulation 2: articulation bras

- Articulation : R1

- Position de l'articulation sur le châssis:  $\mathbf{d}_2 = [\hat{\mathbf{x}}^1]^T \begin{pmatrix} 0 \\ -0.1 \text{ m} \\ -0.1 \text{ m} \end{pmatrix}$

#### Corps 2 : bras de suspension (id : 2)

- Masse :  $m^2 = 1 \text{ kg}$
- Inertie :  $I_{xx}^2 = 0.02 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ,  $I_{yy}^2 = \text{—}$ ,  $I_{zz}^2 = \text{—}$

- Position du centre de masse :  $\mathbf{l}_2 = [\hat{\mathbf{x}}^2]^T \begin{pmatrix} 0 \\ -0.05 \text{ m} \\ 0 \end{pmatrix}$

### Articulation 3 : angle bras/roue

- Articulation : R1

- Position de l'articulation sur le bras de suspension :  $\mathbf{d}_3 = [\hat{\mathbf{x}}^2]^T \begin{pmatrix} 0 \\ -0.1 \text{ m} \\ 0 \end{pmatrix}$

- Angle constant entre le bras de suspension et la roue :  $q^3 = -0.38 \text{ rad}$

### Articulation 4 : rotation roue

- Articulation : R2

### Corps 3 : roue (id : 4)

- Masse :  $m^4 = 10 \text{ kg}$

- Inertie :  $I_{xx}^4 = I_{zz}^4 = 0.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ,  $I_{yy}^4 = 0.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

### Capteur cinématique S

- Position sur le bras de suspension :  $\mathbf{d}_c = [\hat{\mathbf{x}}^2]^T \begin{pmatrix} 0 \\ -0.05 \text{ m} \\ 0 \end{pmatrix}$

### Gravité

- $\mathbf{g} = [\hat{\mathbf{x}}^0]^T \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{pmatrix}$ ;  $g = -9.81 \text{ m/s}^2$

### Force de lien

- Raideur :  $K = 10^5 \text{ N/m}$

- Amortissement :  $D = 10^3 \text{ N/(m/s)}$

- Longueur neutre :  $Z_0 = 0.14 \text{ m}$

- Position du point d'ancrage sur le châssis :  $\mathbf{d}_{bp} = [\hat{\mathbf{x}}^1]^T \begin{pmatrix} 0 \\ -0.1 \text{ m} \\ 0 \end{pmatrix}$

- Position du point d'ancrage sur le bras de suspension :

$$\mathbf{d}_{bs} = [\hat{\mathbf{x}}^2]^T \begin{pmatrix} 0 \\ -0.05 \text{ m} \\ 0 \end{pmatrix}$$

### Contact pneu/sol

- Raideur :  $K_{whl} = 5 \cdot 10^4 \text{ N/m}$

- Rayon nominal de la roue :  $r_{nom} = 0.25 \text{ m}$

## OBJECTIFS

On demande de produire deux types de résultats :

1. Déterminer la position d'équilibre du système, en partant de bonnes conditions initiales ; par exemple, hauteur du châssis :  $q^1 = 0.25 \text{ m}$
2. Déterminer l'évolution du système au départ des conditions initiales suivantes :

$$q^1 = 0.35 \text{ m}$$

$$q^2 = 0.3 \text{ rad}$$

$$q^4 = 0$$

En particulier, on demande d'intégrer numériquement les équations du mouvement de 0 à 8 secondes pour produire graphiquement les résultats suivants :

- $q^1$  (hauteur du châssis) en fonction du temps ;
- $q^2$  (angle entre le châssis et le bras de suspension) en fonction du temps ;
- $F_{whl}$  (force de contact pneu/sol) en fonction du temps ;
- La position verticale (suivant  $\hat{x}_z^0$ ) du capteur S en fonction du temps ;
- L'accélération verticale (suivant  $\hat{x}_z^0$ ) du capteur S en fonction du temps.