

Point technique n°2

Modélisation de la voiture* et implémentation Simulink

- 1) Définition des repères
- 2) Principe fondamental de la dynamique
- 3) Forces extérieures
- 4) Suspensions
- 5) Interaction Pneu-Route (Pacejka)
- 6) Motorisation des roues
- 7) Simulink
- 8) Gestion de projet

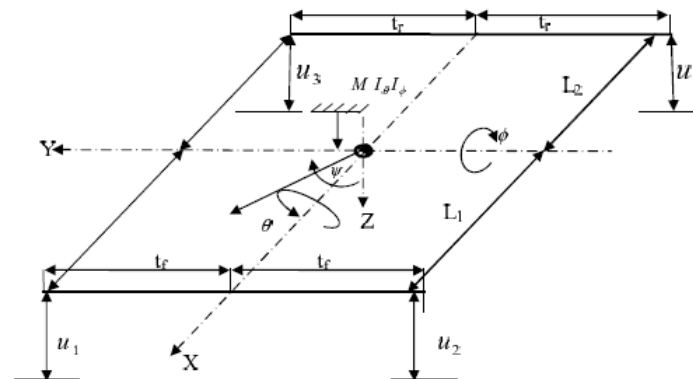
*modèle issu de *Sliding modes based analysis and identification of vehicle dynamics* par H.Imine, L.Fridman, H.Shraim et M.Djemai

1) Définition des repères

- $R_g(x_0, y_0, z_0)$ repère galiléen de référence
- $R(x, y, z)$ repère du véhicule ayant pour origine G le centre de gravité

θ, ϕ, ψ angles de rotation entre les deux repères

$$T_r = \begin{pmatrix} \cos(\phi)\cos(\psi) & -\sin(\psi)\cos(\phi) - \cos(\psi)\sin(\theta)\sin(\phi) & \sin(\psi)\sin(\phi) + \cos(\psi)\sin(\theta)\cos(\phi) \\ \sin(\psi)\cos(\theta) & \cos(\psi)\cos(\phi) + \sin(\psi)\sin(\theta)\sin(\phi) & -\cos(\psi)\sin(\phi) - \sin(\psi)\sin(\theta)\cos(\phi) \\ \sin(\theta) & \cos(\phi)\sin(\theta) & \cos(\theta)\sin(\phi) \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{matrice de rotation} \\ \text{entre les repères} \end{matrix}$$



2) Principe fondamental de la dynamique

- 6 équations donnant les évolutions des coordonnées du centre de gravité et des angles par rapport au repère Rg

$$M \begin{pmatrix} \dot{V}_x \\ \dot{V}_y \\ \dot{V}_z \end{pmatrix} = T_r \times \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^4 FX_i + F_{aeroX} + F_{GX} \\ \sum_{i=1}^4 FY_i + F_{aeroY} + F_{GY} \\ \sum_{i=1}^4 Fz_{ic} + F_{aeroZ} + F_{GZ} \end{pmatrix}$$

$$I \times \begin{pmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\phi} \\ \ddot{\psi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (Fz_1 - Fz_2)t_f + (Fz_3 - Fz_4)t_r - Ma_y h \\ -(Fz_1 + Fz_2)L_1 + (Fz_3 + Fz_4)L_2 + Ma_x h \\ (Fy_1 + Fy_2)L_1 - (Fy_3 + Fy_4)L_2 + \\ (Fx_2 - Fx_1)t_f + (Fx_4 - Fx_3)t_f \end{pmatrix}$$

3) Forces extérieures

- Poids

$$\begin{pmatrix} F_{GX} \\ F_{GY} \\ F_{GZ} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\phi_{road}) & \sin(\phi_{road})\sin(\theta_{road}) & \sin(\phi_{road})\cos(\theta_{road}) \\ 0 & \cos(\theta_{road}) & -\sin(\theta_{road}) \\ -\sin(\phi_{road}) & \cos(\phi_{road})\sin(\theta_{road}) & \cos(\phi_{road})\cos(\theta_{road}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{pmatrix}$$

- Forces longitudinales

$$F_i = \mu_x F_{zi}$$

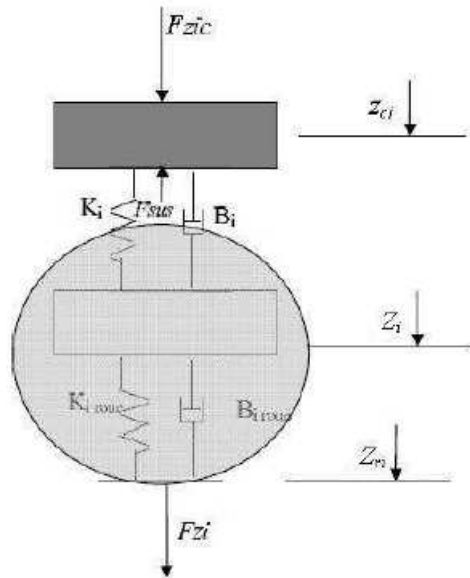
- Forces latérales

$$P_i = \mu_y F_{zi}$$

- Forces aérodynamiques

$$\begin{aligned} F_{aeroX} &= -c_{ventX} A_L \frac{\rho}{2} (V_x - V_{ventX} \cos(\psi) - V_{ventY} \sin(\psi))^2 \\ F_{aeroY} &= -c_{ventX} A_S \frac{\rho}{2} (V_Y - V_{vent}^*)^2 \text{sign}(-V_{vent}^*) \\ F_{aeroZ} &= 0 \end{aligned}$$

4) Suspensions



$$F_{zic} = K_i(Z_i - z_{ci}) + B_i(\dot{Z}_i - \dot{z}_{ci})$$

Front left wheel:

$$F_{z1} = \frac{M}{2L} \times \left(-L_2 \ddot{Y}_{COG} \frac{H}{l} - \ddot{X}_{COG} H + g L_2 \right)$$

Front right wheel:

$$F_{z2} = \frac{M}{2L} \times \left(L_2 \ddot{Y}_{COG} \frac{H}{l} - \ddot{X}_{COG} H + g L_2 \right)$$

5 Wheel/Road Interaction

Rear left wheel:

$$F_{z3} = \frac{M}{2L} \times \left(-L_1 \ddot{Y}_{COG} \frac{H}{l} + \ddot{X}_{COG} H + g L_1 \right)$$

Rear right wheel:

$$F_{z4} = \frac{M}{2L} \times \left(L_1 \ddot{Y}_{COG} \frac{H}{l} + \ddot{X}_{COG} H + g L_1 \right)$$

with $L = L_1 + L_2$ and $H = h + z$,

5) Interaction pneu-route (Pacejka)

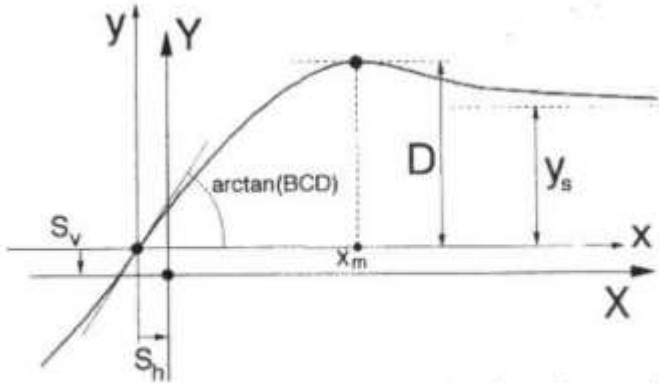


FIGURE 3.94 – Approximation de la courbe de réponse d'un pneumatique par la formule magique de Pacejka

<http://www.ingveh.ulg.ac.be/uploads/education/MECA0525/notes/MECA0525.pdf>

$$y(x) = D \sin [C \arctan \{ Bx - E (Bx - \arctan(Bx)) \}]$$

In the case of acceleration:

The longitudinal slip

$$\lambda_{xi} = \frac{r_{1i}\Omega_i - Vx_i}{r_{1i}\Omega_i}$$

The lateral slip

$$\lambda_{yi} = (1 - \lambda_{xi}) \tan(\alpha_i)$$

6) Motorisation des roues

$$\begin{cases} Ir_1 \times \dot{\Omega}_1 = -r_{11} \times Fx_1 + Torque_1 \\ Ir_2 \times \dot{\Omega}_2 = -r_{21} \times Fx_2 + Torque_2 \\ Ir_3 \times \dot{\Omega}_3 = -r_{31} \times Fx_3 + Torque_3 \\ Ir_4 \times \dot{\Omega}_4 = -r_{41} \times Fx_4 + Torque_4 \end{cases}$$

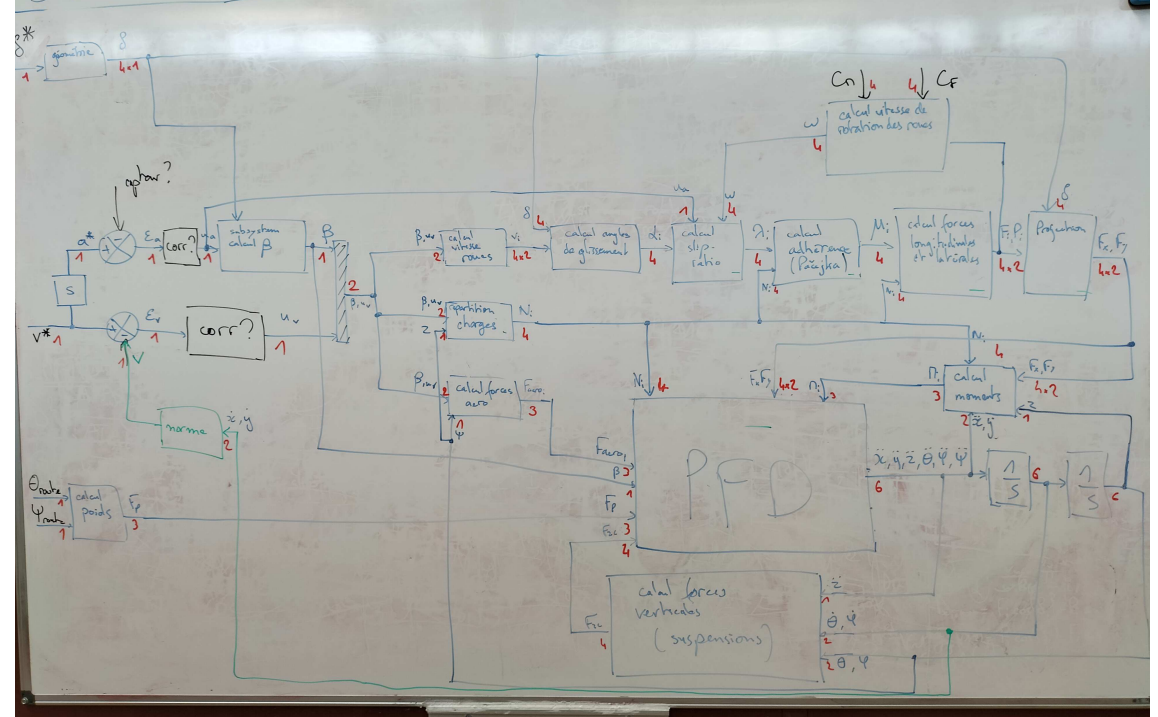
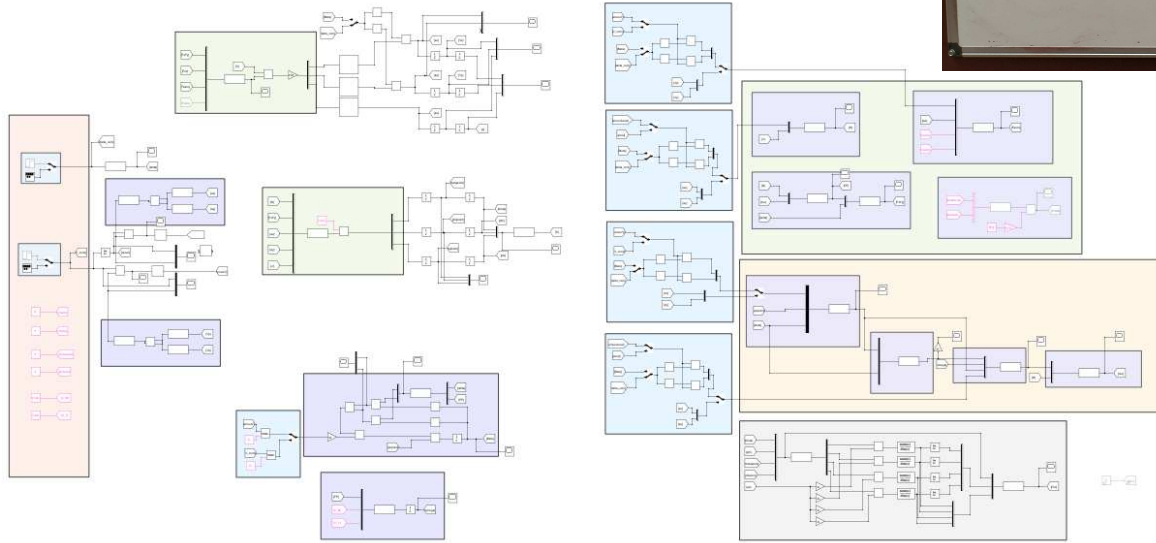
Paramètres du modèle

Notation	Sens	Source	Notation	Sens	Source
d_f	Écartement inter-roues avant	Mesure réelle	C_i	Coefficients d'amortissement des suspensions	Datasheet
d_r	Écartement inter-roues arrière	Mesure réelle	m_i	Masse portée au repos par la suspension	Expérimental ?
l_f	Distance entre G et l'axe des roues avant	Modèle 3D	B,C,D,E	Constantes du modèle de Pacejka	Expérimental ?
l_r	Distance entre G et l'axe des roue arrière	Modèle 3D	R_i	Rayon des roues	Mesure réelle
I	Matrice d'inertie du véhicule	Modèle 3D	C_x	Coefficient de résistance aérodynamique de l'air	Abaques
h	Hauteur du centre de gravité au repos	Modèle 3D	A_L,A_S	Surfaces offertes au vent (frontale et latérale)	Modèle 3D
K_i	Raideur des suspensions	Datasheet	M	Masse totale du véhicule	Mesure réelle

Informations entrantes

Notation	Sens	Négligeable pour le cas d'utilisation ?
delta*	Angle de rotation du volant	NON
V* ou a*	Vitesse ou accélération déduite de la pédale d'accélération	NON
C_M	Couple moteur	NON
V_vent	Vitesse du vent	OUI ?
theta_v, phi_v, psi_v	Orientation du vent	OUI ?
phi_route	Inclinaison latérale de la route	OUI ?
theta_route	Pente de la route	OUI ?
C_F	Couple de freinage	NON

7) Simulink



8) Gestion de projet

